



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

FACULTY OF CHEMISTRY

ÚSTAV CHEMIE POTRAVIN A BIOTECHNOLOGIÍ

INSTITUTE OF FOOD SCIENCE AND BIOTECHNOLOGY

FORTIFIKACE PEKAŘSKÝCH VÝROBKŮ PROTEINOVÝM IZOLÁTEM Z PŠENIČNÝCH OTRUB

FORTIFICATION OF BAKERY PRODUCTS WITH PROTEIN ISOLATE FROM WHEAT BRAN

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Karolína Bidmonová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaromír Pořízka, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Číslo práce: FCH-DIP1691/2021 Akademický rok: 2021/22
Ústav: Ústav chemie potravin a biotechnologií
Studentka: **Bc. Karolína Bidmonová**
Studijní program: Chemie a technologie potravin
Studijní obor: Potravinářská chemie a biotechnologie
Vedoucí práce: **Ing. Jaromír Pořízka, Ph.D.**

Název diplomové práce:

Fortifikace pekařských výrobků proteinovým izolátem z pšeničných otrub

Zadání diplomové práce:

Cílem této diplomové práce je vyhodnotit vliv obohacení základních pekařských výrobků (pšeničný chléb, rohlík) proteinovým izolátem z otrub. V rámci DP budou řešeny tyto dílčí úkoly:

1. Izolovat proteinový izolát z otrub.
2. Vyrobit referenční pečivo pomocí standardních receptur bez přídavku proteinového izolátu.
3. Připravit pšeničná těsta s různým přídavkem proteinového izolátu z otrub.
4. Provést analýzy zaměřené na reologické vlastnosti těsta – stanovení vlhkosti a objemové hmotnosti směsi, stanovení dusíku dle Kjeldahla, stanovení obsahu lepku, stanovení pádového čísla, farinografie, extenziometrie, alveografie.
5. Provést analýzu nutričních vlastností vyrobených vzorků.
6. Provést sensorickou analýzu vyrobených vzorků.
7. Vyhodnotit experimentální data.

Termín odevzdání diplomové práce: 13.5.2022:

Diplomová práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu. Toto zadání je součástí diplomové práce.

Bc. Karolína Bidmonová
studentka

Ing. Jaromír Pořízka, Ph.D.
vedoucí práce

prof. RNDr. Ivana Márová, CSc.
vedoucí ústavu

V Brně dne 1.2.2022

prof. Ing. Michal Veselý, CSc.
děkan

ABSTRAKT

Bílkoviny, jakožto základní stavební kámen všech buněk a tkání, spolu s tuky a sacharidy představují klíčovou makroživinu lidské výživy. Nedostatečné množství bílkovin ve stravě může vést ke zdravotním problémům až k čím dál častější proteinové podvýživě. Fortifikace potravin hraje důležitou roli při eliminaci tohoto proteinového deficitu. Pšeničné výrobky, jakožto hojně konzumovaná potravina, se jeví jako vhodná komodita pro fortifikaci proteinem. Pšeničné otruby byly vybrány jako vhodný zdroj bílkovin vzhledem k jejich dostupnosti, obsahu bílkovin a relativní nenáročnosti metody izolace proteinu. V rámci experimentální části byl extrahován protein z pšeničných otrub, který se následně použil pro přípravu směsí. Směs obsahovala mouku T530 substituovanou 5 %, 10 % a 15 % OPI. Z tato připravených směsí byla připravena těsta, která byla podrobena chemické a reologické analýze. V poslední fázi byly ze směsí mouky a proteinového izolátu z pšeničných otrub upečeny bagety. Texturní a chuťové vlastnosti připravených vzorků baget byly ověřeny pomocí sensorické analýzy. Pro srovnání výsledků byly všechny analýzy provedeny také u směsi mouky a syrovátkového proteinu a vzorku neobohacené mouky. Aplikované testy ukázaly, že substituce proteinu ovlivňuje nejen nutriční, chemické, ale i reologické vlastnosti. U přídatku proteinového izolátu z pšeničných otrub byl vyhodnocen negativní vliv na chuťové vlastnosti fortifikovaných baget, kdy se zvyšující substitucí OPI (otrubový proteinový izolát) rostla hořkost výrobku. Optimalizace chuti by mohla být významným tématem pro budoucí studie.

KLÍČOVÁ SLOVA

Proteiny, fortifikace, pšeničné otruby, proteinový izolát z pšeničných otrub, syrovátkový protein, farinograf, extenzograf, sensorická analýza

ABSTRACT

Proteins, as the major structural component of all cells and tissues, along with fats and carbohydrates, are a key macronutrient in human nutrition. An insufficient protein intake in the diet can lead to health problems and increasing protein malnutrition. Food fortification plays an important role in eliminating this protein deficiency. Wheat products, as a widely consumed food, seem to be a suitable commodity for protein fortification. Wheat bran was selected as a suitable source of protein due to its availability, protein content and relative simple method of a protein isolation. In the experimental part, the protein was extracted from wheat bran and used to prepare the mixtures. The mixture contained T530 flour and the 5%, 10% and 15% addition of the wheat bran protein isolate. From these mixtures, doughs were prepared and were subjected to chemical and rheological analysis. Finally, wheat baguettes with the addition of wheat bran protein isolate were made. The texture and taste properties of the baked products were verified by sensory analysis. The mixtures of flour and whey protein and a sample of unriched flour were also analysed to compare the results. Applied tests have shown that the addition of protein influences not only nutritional and chemical but also rheological properties. The addition of wheat bran protein isolate had a negative impact on the taste properties of the baguette. Higher addition of BPI caused the increase of the bitterness of products. Taste optimization could be a topic for future study.

KEYWORDS

Proteins, fortifications, wheat bran, wheat bran protein isolate, whey protein, farinograph, extenzograph, sensory analysis

BIDMONOVÁ, Karolína. *Fortifikace pekařských výrobků proteinovým izolátem z pšeničných otrub* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139172>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie potravin a biotechnologií. Vedoucí práce Jaromír Pořízka.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citovala. Diplomová práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové práce a děkana FCH VUT.

.....
podpis studenta

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu své diplomové práce Ing. Jaromíru Pořízkovi Ph.D., za odborné vedení, poskytnutí cenných rad a připomínek. Dále bych ráda poděkovala Ing. Zuzaně Slavíkové za pomoc, odborné vedení, poskytnutý čas a trpělivost. V poslední řadě bych ráda poděkovala paní Miroslavě Vymětalové a týmu za vypůjčení laboratoře a laboratorních přístrojů v prostorách Mlýny Voženílek s.r.o.

OBSAH

1	ÚVOD.....	8
2	TEORETICKÁ ČÁST.....	9
2.1	Nutriční hodnota bílkovin.....	9
2.2	Fortifikace potravin.....	10
2.2.1	Nejčastěji fortifikované potraviny	10
2.2.2	Vývoj trhu s proteinovými aditivy.....	13
2.3	Obiloviny.....	15
2.3.1	Morfologická stavba zrna.....	15
2.3.2	Pšeničné otruby.....	16
2.3.3	Valorizace pšeničných otrub	18
2.3.4	Metody pro extrakci a izolaci proteinů z otrub.....	19
2.4	Pekárenská technologie	21
2.4.1	Suroviny pro pekárenskou výrobu.....	22
2.4.2	Technologie pekárenského výrobního postupu	24
2.5	Hodnocení technologické jakosti pšenice	26
2.5.1	Stanovení vlhkosti.....	26
2.5.2	Stanovení objemové hmotnosti.....	27
2.5.3	Stanovení tvrdosti zrna.....	27
2.5.4	Stanovení čísla poklesu	27
2.5.5	Amylograf.....	28
2.5.6	Hodnocení bílkovino-proteinázového komplexu	29
2.5.7	Reologické hodnocení.....	30
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	33
3.1	Chemikálie.....	33
3.2	Přístroje	33
3.3	Laboratorní pomůcky	33
3.4	Pšeničné otruby.....	33
3.5	Proces izolace proteinu z pšeničných otrub.....	33
3.6	Pekařský experiment	35
3.7	Metody stanovení.....	36

3.7.1	Stanovení obsahu mokrého lepku.....	36
3.7.2	Stanovení bobtnavosti lepku.....	36
3.7.3	Stanovení vody titračně podle Karl-Fishera.....	36
3.7.4	Enzymová imunoanalýza pro stanovení lepku.....	37
3.7.5	Stanovení uhlíku, vodíku a dusíku ve směsích.....	37
3.7.6	Farinografické stanovení.....	38
3.7.7	Extenzografické stanovení.....	39
3.8	Senzorická analýza.....	40
3.9	Statistické vyhodnocení dat.....	41
4	VÝSLEDKY A DISKUSE.....	42
4.1	Fyzikální a chemické vlastnosti těst a pekařských směsí.....	42
4.1.1	Nutriční charakteristika proteinových izolátů.....	42
4.1.2	Stanovení obsahu bílkovin v mouce a pekařských směsích.....	44
4.1.3	Stanovení vody titračně podle Karl-Fishera.....	45
4.1.4	Stanovení obsahu mokrého lepku.....	45
4.1.5	Stanovení bobtnavosti lepku.....	47
4.2	Reologické vlastnosti těsta.....	48
4.2.1	Farinografické stanovení.....	48
4.2.2	Extenzografické stanovení.....	51
4.3	Vliv fortifikace těst proteinem na sensorické vlastnosti.....	54
4.3.1	Texturní vlastnosti.....	56
4.3.2	Chuťové a vonné vlastnosti.....	58
5	ZÁVĚR.....	61
6	ZDROJE.....	62
7	SEZNAM ZKRATEK.....	70
8	PŘÍLOHY.....	71

1 ÚVOD

Bílkoviny jsou základním stavebním kamenem všech buněk a tkání. Spolu s tuky a sacharidy představují klíčovou makroživinu lidské výživy. Jsou to makromolekuly složené z jednoho nebo více řetězců aminokyselin. Pro výživu člověka jsou naprosto nutné a nepostradatelné, protože jsou zdrojem esenciálních aminokyselin a zastávají řadu funkcí – strukturní, regulační, transportní, obrannou, zásobní, pohybovou, acidobazickou nebo výživovou. Na rozdíl od tuků a sacharidů není naše tělo schopné bílkoviny ukládat, a proto musí být přijímány pravidelně a v dostatečném množství během celého dne. Rozvržení bílkovin ve stravě během dne je velmi důležité, protože naše tělo není schopné přijmout jednorázově více než 30 gramů bílkovin. Podle Světové zdravotnické organizace (WHO) se doporučený denní příjem pohybuje v rozmezí mezi 0,8–1,2 g/kg hmotnosti jedince. V případě nadbytečného příjmu bílkovin (které není tolik obvyklé) dochází k zatěžování ledvin a jater, které může vést až k poruchám jejich funkcí. Při nedostatečném příjmu bílkovin může dojít k zastavení růstu jedince, zhoršení regulačních funkcí, prodloužení doby rekonvalescence aj. V boji proti nedostatečnému příjmu bílkovin hraje důležitou roli jejich fortifikace do potravin, kterou je možné tento deficit eliminovat.

Světová zdravotnická organizace definuje fortifikaci/obohacování potravin jako přídavek jedné nebo více esenciálních živin za účelem prevence nebo odstranění prokázané výživové deficiencie živin u obyvatelstva. Hlavním cílem fortifikace potravin je spojení biologicky a cenově dostupného fortifikantu s potravinovým nosičem, který bude vhodný zejména pro ohrožené skupiny populace. Nejenom nedostatečné množství vitaminů a minerálních látek v potravinách, ale i nedostatečný denní příjem bílkovin se stává potenciálním problémem. Proteinová kalorická podvýživa je vážným tématem pro lidi, jejichž strava se skládá převážně z obilnin [2]. Pekařské výrobky z pšenice se řadí mezi nejkonzumovanější základní potraviny potenciálně ohrožených etnických skupin, a proto se jeví jako vhodná komodita pro fortifikaci. Začlenění luštěninových proteinů (sója, cizrna, hrách, fazole), obilných proteinů (pšenice, kukuřice, čirok) nebo živočišných proteinů (syrovátka) do pekařských produktů je předmětem řady studií [3]. Dle průzkumu trhu není nejčastěji proteinové pečivo obohacováno pouze jedním proteinem, ale jejich vzájemnou kombinací, tj. proteinovou směsí. Přídavek zvoleného fortifikantu by však neměl mít negativní vliv na sensorické vlastnosti a výslednou kvalitu produktu.

Předmětem této diplomové práce bylo začlenění proteinového izolátu z pšeničných otrub do pekařských výrobků. Díky nízké ceně, dostupnosti, a především aminokyselinovému složení se pšeničné otruby dají považovat za vhodný zdroj dietárního proteinu [4]. Cílem práce bylo zhodnocení vlivu přídatku otrubového pšeničného izolátu (OPI) na chemické, reologické a sensorické vlastnosti. Chemická analýza byla založena na elementární analýze, analýze vody a mokrého lepku. Reologické vlastnosti byly posuzovány pomocí farinografického a extenzografického stanovení. Sensorická analýza byla hodnocena na základně texturních, chuťových a vonných vlastností výsledných baget.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Nutriční hodnota bílkovin

Bílkoviny jsou dusíkaté látky, které jsou tvořeny aminokyselinami. Slouží jako hlavní strukturální složka svalů a dalších tkání v těle. Kromě toho se používají k produkci hormonů, enzymů a hemoglobinu. Proteiny mohou být také použity jako energie, nejsou však primární volbou. Aby proteiny mohly být tělem využity, musí být metabolizovány na jejich nejjednodušší formu, aminokyseliny. Bylo identifikováno 20 aminokyselin, které jsou potřebné pro lidský růst a metabolismus. Dvanáct z těchto aminokyselin (jedenáct u dětí) se označuje jako neesenciální, což znamená, že si je naše tělo dokáže syntetizovat (z esenciálních AMK) a nemusí je přijímat ve stravě. Zbývající aminokyseliny nemohou být v těle syntetizovány a jsou popisovány jako nezbytné, což znamená, že je třeba je přijímat v naší stravě [5].

Nutriční kvalita bílkovin obecně souvisí se zastoupením esenciálních aminokyselin a jejich stravitelností v lidském těle po konzumaci. Živočišné bílkoviny, jejichž zdroji je například maso, vejce a mléko, jsou obecně považovány za bílkoviny obsahující kompletní aminokyseliny, známé jako „kompletní proteinové balíčky“. Jinými slovy, živočišné bílkoviny obsahují všech devět nepostradatelných neboli esenciálních aminokyselin, tj. histidin, isoleucin, leucin, lysin, methionin, fenylalanin, threonin, tryptofan a valin. Stravitelnost bílkovin udává podíl přijatých aminokyselin, které jsou po strávení a vstřebání tělu k dispozici pro další využití. Obecně platí, že živočišné bílkoviny mají vysokou stravitelnost (> 95 %). Rostlinné bílkoviny na druhé straně často postrádají jednu nebo dvě esenciální aminokyseliny, a proto jsou považovány za „nekompletní proteinové balíčky“. Luštěniny jako je sója a hrách postrádají aminokyseliny obsahující síru, tj. methionin a cystein. Naproti tomu pšenice a ječmen obsahují omezené množství lysinu. Stravitelnost rostlinných bílkovin je nižší než u živočišných bílkovin. Nižší stravitelnost rostlinných proteinů je ovlivněna vnitřními a vnějšími faktory. Mezi vnější faktory ovlivňující stravitelnost patří zabudování proteinů v buněčné stěně a antinutriční látky (taniny, kyselina fytová, inhibitory enzymů apod.). Stravitelnost ovlivňuje i aminokyselinový profil, kdy například aminokyselina prolin je charakterizována vysokou odolností proti peptidáze. Díky vyšší odolnosti pšeničný lepek (bohatý na prolin) je hůře stravitelný. Výjimkou je sójový protein, který svojí stravitelností odpovídá stravitelnosti syrovátkového proteinu [6].

Další významná vlastnost bílkovin, kromě aminokyselinového složení, je využitelnost (vstřebatelnost ve střevě), která závisí na složení potraviny. Obecně lze říct, že rostlinné bílkoviny jsou méně vstřebatelné, kvůli obsahu vlákniny (antinutriční látka) a pevnosti obsahu buněčné stěny. Vstřebatelnost rostlinných bílkovin lze poměrně snadno ovlivnit. Jednou z možností je klíčení luštěnin, obilovin a semínek, kdy dochází k narušení buněčné stěny. Další možnost vedoucí ke zvýšení vstřebatelnosti je máčení. Živočišné proteiny v porovnání s rostlinnými bílkoviny obsahují i vyšší procento zastoupení bílkovin, kdy například vařené kuřecí maso obsahuje přibližně 80 % bílkovin a vařená čočka pouze 30 %.

Z toho vyplývá, že z živočišných bílkovin rychleji přijmeme denní množství bílkovin, který podle WHO odpovídá 0,8–1,2 gramů na kilogram aktivní tělesné hmotnosti na den [7][8].

Proteinová kalorická podvýživa je vážným problémem pro lidi, jejichž strava se skládá převážně z obilnin nebo škrobové stravy, zejména pro předškolní děti a kojící matky v rozvojových zemích. Proteinová fortifikace mléčnými proteiny nebo luštěninovými proteiny v běžném pečení nebo extrudovaných výrobcích je běžně používaná metoda k minimalizaci tohoto problému [2].

2.2 Fortifikace potravin

Světová zdravotnická organizace (WHO) definuje fortifikaci/obohacování potravin jako proces záměrného zvyšování esenciálních živin v potravině za účelem prevence nebo odstranění prokázané výživové deficiencie živin u obyvatelstva. Pokud se budeme zabývat detailněji fortifikací, můžeme se dostat k termínům jako je standardizace, suplementace a restituce. Standardizace představuje přidání živin do potraviny tak, aby byly vyrovnané přirozené odchylky nebo zde byly přítomny v minimálním množství. Pojem restituce znamená, že do potraviny byly přidány esenciální živiny, které se ztratily během výroby, skladování a manipulace s potravinou. Množství přidané esenciální složky je takové, aby vyrovnalo ztrátu a došlo k docílení původního množství před zpracováním [9][10].

Pokud se jedná o přidání vitaminů do potraviny, jedná se o vitaminizaci. Avšak vitaminy se běžně nepřidávají samostatně, ale s dalšími mikroživinami, tudíž můžeme mluvit o suplementaci. Nicméně existuje řada dalších látek, které se takto využívají, a to například, mastné kyseliny, minerální látky a především bílkoviny [9][10].

Odhaduje se, že asi 2 miliardy lidí, přibližně jedna třetina světové populace, trpí nedostatkem jednoho nebo více minerálních prvků. Ačkoli jsou tyto minerální prvky vyžadovány ve stopových množstvích, podílejí se na mnoha životně důležitých metabolických funkcích. Nedostatky mikroživin u lidí lze napravit pomocí diverzifikace potravin, minerálních doplňků, obohacování potravin a biofortifikace. Termín biofortifikace označuje zvýšení koncentrace mikroživin v jedlé části rostliny a lze jej dosáhnout jak použitím hnojiv, tak stimulací vstřebávání těchto minerálů v rostlině. Prakticky fortifikace je úzce spjatá s biofortifikací rostlin. Čím vyšší je nutriční hodnota surovin, tím nižší je potřeba fortifikace [10][11].

2.2.1 Nejčastěji fortifikované potraviny

Nejběžnějšími obohacenými potravinami jsou cereálie, cereální výrobky, mléko, mléčné výrobky, tuky, oleje, čaj a různé pochutiny, jako je sůl, sójová omáčka, cukr a kojenecká výživa [12]. V dalších podkapitolách budou některé tyto potraviny detailněji popsány.

Fortifikace mléka a mléčných výrobků

Jak je dobře známo, tak v dnešní době je čím dál větší poptávka po potravinách, které mají co nejméně kalorií. Díky tomu se v mlékárenské průmyslu tuk odděluje za vzniku nízkokalorických produktů. Nicméně spolu s tukem dochází k odstranění vitaminů, které jsou rozpustné v tucích (A, D, E, K). Mléčné výrobky jsou jednou z nejlepších voleb pro

fortifikaci vitamínu D, protože jsou zdravé, vysoce konzumované a považují se za hlavní zdroj vápníku a vitamínu D, vzhledem k vysoké konzumaci. Vitamin D je ve většině z nich stabilní a jeho přidání výrazně neovlivňuje sensorické vlastnosti produktů. Vzhledem k rozmanitým funkcím vitamínu D (kalciferoly) a jeho nedostatečnému příjmu v mnoha částech světa je jeho obnova nebo obohacování velmi důležitá. V některých zemích, jako je Německo, je tato fortifikace zakázána kvůli riziku toxicity, ke kterému dochází při překročení horní hranice denního příjmu. Česká republika, stejně tak například Francie, se řadí mezi státy, které tuto fortifikaci aplikují v praxi [13]. Mlékárna Kunín se řadí mezi české firmy, které vyrábějí fortifikované mléko vitamínem D.

Pokud se podíváme do statistik konzumace mléka, tak průměrná osoba za rok zkonsumuje 58,8 l/rok kravského mléka (údaje z roku 2019), to znamená, že pokud klasické mléko obsahuje 0,16 µg vitamínu D/100 g, tak průměrný člověk za rok získá z mléka pouze 94,08 µg vitamínu D. Pokud by došlo k náhradě klasického mléka, mlékem fortifikovaným, tak by byl roční příjem vitamínu D na hodnotě 468,8 µg/rok, což je přibližně 5krát více. Dle legislativy by dospělý člověk měl denně přijmout 5 µg vitamínu D. V rozporu s legislativou jsou nejnovější studie, které uvádějí doporučený denní příjem vitamínu D na 25–50 µg, aby došlo k aktivaci imunitních procesů v těle. Aby člověk pomocí nefortifikovaného mléka dosáhl alespoň na dolní hranici denního příjmu určené legislativou, musel by denně zužitkovat přibližně 3 litry kravského mléka, fortifikovaného pouze necelý litr. Srovnání fortifikované a nefortifikované mléka je pouze ukázkové, protože vitamin D obsahuje i řada dalších potravin, které běžně přijímáme [14][15][16].

Dosavadní studie ukazují, že mléčné výrobky jsou velmi vhodné k fortifikaci vitamínem D, ale také například rybím olejem za účelem zvýšení omega-3 LC PUFA. Pro obohacování potravin lze použít pouze nehydrogenovaný, dobře rafinovaný a stabilizovaný rybí olej. Vzhledem k vysoké náchylnosti rybího tuku by se měly potraviny uchovávat velmi krátkou dobu, při nízké teplotě a v obalech bez přístupu vzduchu a světla. V současné době je k dispozici pouze malý počet publikovaných studií týkajících se fortifikace potravin rybím olejem. Bylo však prokázáno, že taková fortifikace může významně ovlivnit vůni a chuť obohacených potravin. Studie, kterou provedl Kolanowski, W a kol (2007) došla k závěru, že nejvyšší úroveň fortifikace je možná v případě tuhých, vysokotučných mléčných výrobků (máslo, tavené sýry). Tuhá konzistence zkoumaných výrobků umožnila pravidelnou a rovnoměrnou distribuci přidaného rybího oleje. Jedna porce (asi 30 gramů) roztíratelných sýrů, másla nebo tavených sýrů obohacených rybím olejem může poskytnout až 360 mg omega-3 LC PUFA, což je přibližně stejné množství, jako bychom získali ze 40 gramů ryby [17].

Fortifikace cereálií a výrobků na bázi obilovin

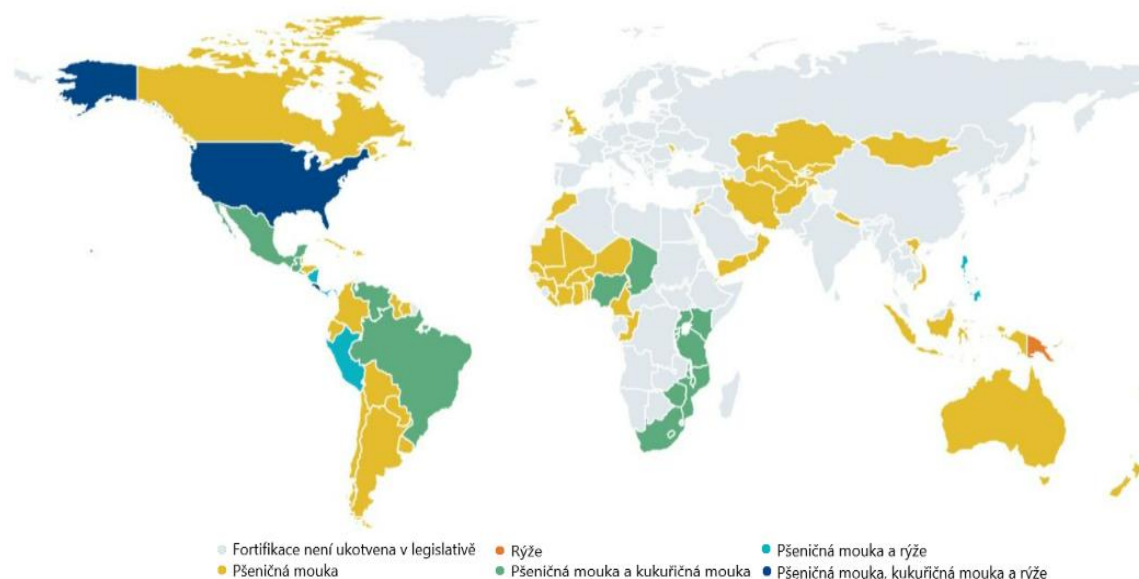
Cereálie a výrobky na bázi obilovin představují významný nutriční zdroj makroživin (sacharidy, bílkoviny, vláknina), mikroživin, včetně vitamínů (E a některé vitamíny skupiny B) a minerálních látek (Mg a Zn). Tepelné a mechanické procesy používané pro přeměnu obilovin na konzumní produkty vedou ke snížení nebo dokonce odstranění některých bioaktivních látek. Vlivem odstranění některých bioaktivních látek dochází ke ztrátě

nutričních a zdravotních benefitů obilovin [18]. Prvním cereálním produktem, který byl z velké části obohacen, byla pšeničná mouka. Na začátku roku 2015 požadovalo fortifikaci pšeničné mouky 83 zemí, z toho 14 současně požadovalo fortifikaci kukuřičné mouky. Většina z těchto zemí vyžaduje obohacování pšeničné a kukuřičné mouky alespoň železem a kyselinou listovou [12]. Mikroživiny, které se nejčastěji používají k obohacování pšeničné mouky, jsou vypsány v tabulce (Tabulka 1).

Tabulka 1: Obohacování pšeničné mouky o mikroživiny a jejich zdravotní přínosy [12]

	Mikroživiny	Zdravotní přínos
Pšeničná mouka	Minerály	Zvyšují obsah nebo biologickou dostupnost konkrétních mikroživin
	Vitamíny	Prevence/snížení/zlepšení výskytu anémie nebo deficitu daného vitamínu
	Proteiny	Funkční potravina s terapeutickými ochrannými účinky proti cukrovce a kardiovaskulárním chorobám
	Mastné kyseliny	Prevence civilizačních chorob (např. hypertenze, obezita)

Průmyslově zpracovaná fortifikace pšeničné mouky, je-li správně implementována, je účinnou, jednoduchou a nenákladnou strategií k poskytování vitamínů a minerálů světové populaci, čímž se zlepšuje nutriční kvalita dodávek potravin [12]. Na obrázku (Obrázek 1) jsou zobrazeny státy, které přijaly platnou legislativu o fortifikaci obilovin. Je zřejmé, že pšeničná mouka je z obilovin nejhojněji využívána.



Obrázek 1: Povinná legislativa o fortifikaci obilných zrn k roku 2021 [19]

Nejenom nedostatkové množství vitaminů a minerálních látek, ale i nedostatečné množství bílkovin hraje důležitou roli ve fortifikaci potravin. Proteinová kalorická podvýživa je vážným problémem pro lidi, jejichž strava se skládá převážně z obilnin nebo škrobové stravy, zejména pro předškolní děti a kojící matky v rozvojových zemích. Proteinová fortifikace mléčnými proteiny nebo luštěninovými proteiny v běžném pečení nebo extrudovaných výrobcích je běžně používaná metoda pro odstranění proteinové kalorické podvýživy. Syrovátka je vedlejším produktem sýrového průmyslu a její proteiny jsou považovány za jedny z nejkvalitnější s vysokou stravitelností a kompletním aminokyselinovým profilem. Sýrovátkové proteiny jsou také doporučovány pro jejich příznivé účinky na posílení imunity, snížení rizika srdečních onemocnění a výskytu rakoviny. Stejně tak se uvádí, že i sójové proteiny mají příznivé účinky na výživu a zdraví, jako je prevence rakoviny, cukrovky a obezity. Sýrovátkové i sójové proteiny jsou nejpoužívanějšími proteiny v proteinově fortifikovaných potravinách [2].

Konvenční rostlinné proteiny (tj. pšenice a sója) dominují v pekařském průmyslu, ale objevují se i nové zdroje (např. hrách, cizrna), kdy každý protein přináší specifické funkční vlastnosti a nutriční hodnotu. Cizrna se používá v pekařských výrobcích pro její střední kalorie, vysoký obsah bílkovin (17–22 %), komplexní sacharidy, dietní vlákninu a vitamíny. Předchozí studie uvádějí, že pšeničné těsto, které bylo obohaceno až o 10 % cizrnové mouky, mělo stále nelepivý povrch a poskytovalo chlebovou kůrku podobné barvy, jako obyčejný pšeničný chléb [3].

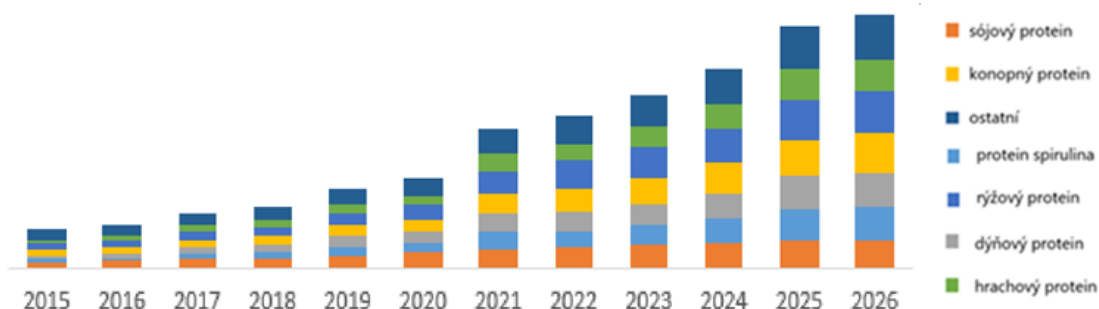
2.2.2 Vývoj trhu s proteinovými aditivy

Světová populace neustále roste a očekává se, že do roku 2050 dosáhne 9,7 miliardy. Tento růst souvisí se zvýšenou poptávkou po bílkovinách, což zvyšuje tlak na životní prostředí. Zároveň je nutné snížit negativní dopad produkce potravin na životní prostředí – omezit tvorbu skleníkových plynů, snížit spotřebu energie a optimalizovat využívání půdy. Všechny tyto faktory poukazují na potřebu alternativních zdrojů bílkovin. V současnosti se výzkumné trendy a inovace potravin zaměřují na udržitelné zdroje rostlinných a živočišných bílkovin. Mezi zdroji živočišných bílkovin je hmyz potenciálním řešením pro potravinářský průmysl. Hmyz je tradiční součástí stravy dvou miliard lidí a uvádí se, že se pravidelně konzumuje až 1900 druhů hmyzu. Zatímco v Asii, Africe a Jižní Americe byla entomofobie již dlouho součástí tradice určitých kultur, v západním světě se o ní začalo uvažovat teprve nedávno. Využití hmyzu v potravinářském průmyslu má několik pozitivních výhod, tj. vysoký obsah kvalitních bílkovin, vysoká míra reprodukce ve srovnání s jinými zdroji živočišných bílkovin, snížení spotřeby vody a emisí skleníkových plynů a vysoká účinnost konverze krmiva, která výrazně snižuje náklady na chov [22].

Stejně jako s rostoucím zájmem o celkové bílkoviny se očekává výrazný růst trhu s rostlinnými bílkovinnými složkami (hrách, cizrna, čočka, rýže apod.). Rostlinné bílkoviny mohou nahradit část tržního podílu živočišných bílkovin (mléko, vejce a maso), protože je lze vyrábět za konkurenceschopné ceny [3]. Zatímco živočišné bílkoviny jsou po desetiletí považovány za primární zdroj bílkovin ve stravě, v posledních letech došlo k posunu paradigmatu ve stravovacích vzorcích běžné populace směrem k rostlinným bílkovinám.

V důsledku toho produkce rostlinných bílkovin v potravinářském průmyslu raketově vzrostla. Nárůst trhu s rostlinným proteinem podpořila řada výzkumů, při kterých byly prokázány jejich významné zdravotní přínosy v porovnání s živočišnými proteiny. Dalším důvodem nárůstu popularity rostlinných proteinů jsou obavy o životní prostředí, které jsou spojeny s chovem dobytka. Tato obava pramení z rizik, které masný průmysl představuje, jako je například velké množství vyprodukovaného hnoje, který přispívá ke zvýšení skleníkových plynů [6].

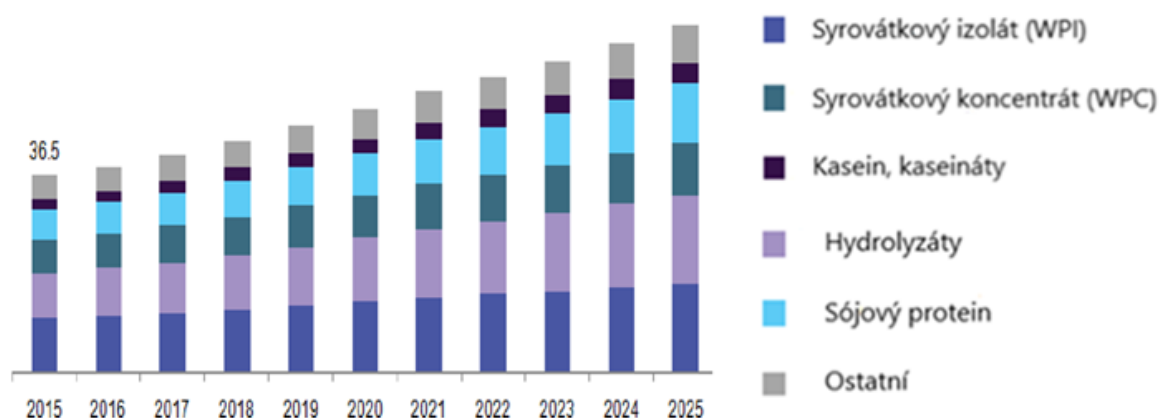
Společnost America research, Inc. roku 2019 provedla výzkum, kdy definovala velikost trhu a odhadla nárůst trhu s rostlinným proteinovými produkty do roku 2026 [23]. Tento nárůst trhu je graficky vyobrazen na obrázku (Obrázek 2).



Obrázek 2: Celosvětově rostoucí poptávka po rostlinných proteinových produktech (2015–2026) [23]

Ačkoliv dochází k razantnímu nárůstu poptávky po rostlinných proteinech, nepředpokládá se, že by se staly do roku 2025 primárním zdrojem bílkovin. Tento fakt potvrzuje i přibližný vývoj německého trhu s funkčními potravinami, který je zobrazen na obrázku (Obrázek 3).

Předpokládaný příjem v roce 2025 nám ukazuje, že živočišné bílkoviny budou tvořit přibližně $\frac{3}{4}$ celkového příjmu bílkovin, a rostlinné pouhou $\frac{1}{4}$ celkového příjmu bílkovin [24].



Obrázek 3: Německý trh s funkčními proteiny od roku 2015–2025 (kilo tun) [24]

2.3 Obiloviny

Obiloviny jsou šlechtěny, pěstovány a využívány především pro svá semena (zrna), která se spotřebovávají buď celá (rýže, vločky, kroupy apod.) nebo jsou semleta na mouky s odlišnou granulací [25]. K roku 2021 zaujímá celková osevní plocha v České republice téměř 2,5 mil. ha. Obiloviny, které se zde pěstují, zabírají celkem 56 % z osevní plochy.

Mezi nejčastěji pěstované obiloviny se řadí pšenice (především pšenice ozimá), ječmen, kukuřice na zrno a oves [26].

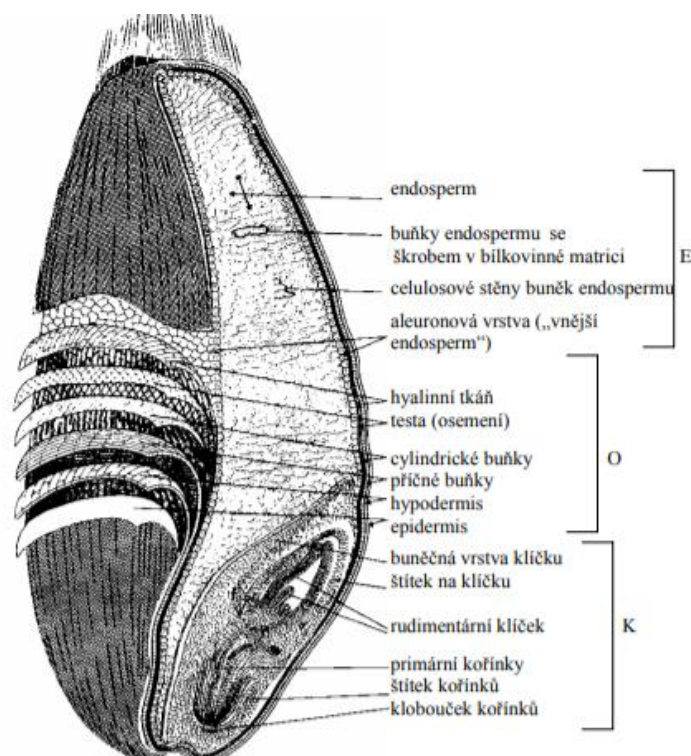
2.3.1 Morfologická stavba zrna

Morfologická skladba zrna je zhruba stejná u všech druhů obilovin. Zrna různých obilovin se liší především velikostí, tvarem, podílem jednotlivých vrstev a přítomností pluchy na obilce. Výsledná velikost zrna je ovlivněna mnoha faktory, jako je kvalita půdy, klimatické podmínky (úhrn dešťových srážek, sluneční svit, teplotní profil a nadmořská výška), použitá agrotechnika a další [27][28].

Nejsvrchnější obalové vrstvy, které mají za úkol chránit zrno před mechanickým poškozením, krátkodobými účinky vody a škodlivých látek, se nazývají oplodí (perikarp). Perikarp je tvořen především nerozpustnými složkami a obtížně bobtnajícími materiály, jako je celulóza, hemicelulóza a lignin. V menší části také obsahuje řadu minerálních látek a vitamínů. Další obalové vrstvy, nazývané osemení (testa) v sobě nesou barviva, která dodávají zrnu jeho barevný vzhled (především karotenoidy), fenolické kyseliny, bílkoviny a vitamíny. Na rozdíl od oplodí, je osemení tvořeno polysacharidy, které mají schopnost ve vodě bobtnat, vázat vodu a částečně se rozpouštět. Tyto vlastnosti do jisté míry napomáhají k udržení rovnováhy vlhkosti zrna. všechny tyto vrstvy se při mletí zrna odstraňují a dále označují jako otruby [27][28].

Mezi obalovými vrstvami a endospermem se nachází aleuronová vrstva, často nazývaná jako vnější endosperm. Je to jednoduchá, měkká vrstva, která obsahuje vysoký podíl bílkovin (až 30 %) a minerálních látek. Podle podmínek mletí může aleuronová vrstva být vymleta společně s endospermem do mouk nebo se část aleuronové vrstvy přichytne na otruby. Pod povrchem veškerých vrstev se nachází technologicky nejvýznamnější a největší část zrna, a to endosperm. Endosperm je vnitřní obsah zrna a z 85 % je tvořen především škrobem a z 12 % zásobními bílkovinami. Poslední částí zrna je blok klíčku, který obsahuje velké množství bílkovin včetně enzymů, minerálních látek, sterolů, lipidů a dalších biologicky aktivní látek. Z důvodu značného obsahu lipidů je celý blok klíčku odstraňován před mlýnským zpracováním, aby se zabránilo oxidačním a enzymovým změnám. Pokud nedojde k včasnému odstranění klíčku, může dojít k senzoričkému znehodnocení potraviny.

Jestliže má být klíček dále zpracováván pro další potravinářské účely, musí dojít k inhibici přítomných enzymů. Tento proces musí být proveden co nejrychleji, jinak se projeví příznaky chuťových a pachových změn [27][28]. Podélný řez pšeničným zrnem se znázorněním jeho morfologických vrstev najdeme na obrázku (Obrázek 4).



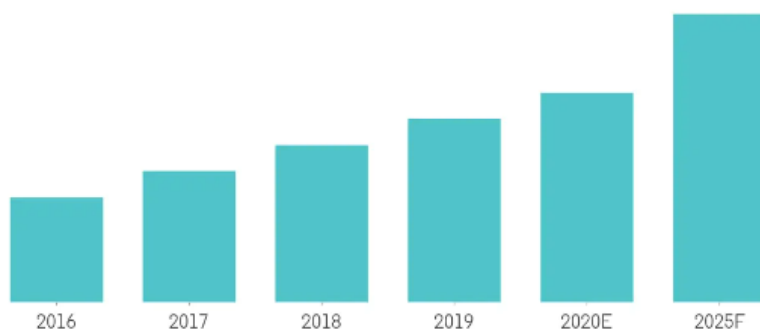
Obrázek 4: Podélný řez pšeničným zrnem se znázorněním jeho morfologických vrstev, které přecházejí do otrub (O), endospermu (E) a odstraňované s klíčkem (K) [27]

2.3.2 Pšeničné otruby

Obalové vrstvy obilovin jsou zdrojem nutričně významných látek, avšak cílem během mlýnského zpracování je tyto vrstvy odstranit. Mlýny tyto obalové vrstvy zpracovávají do podoby otrub nebo krmných mouk, které se tradičně využívají pro výrobu krmných směsí.

V současné době roste poptávka po nutrientech, které se vyskytují v otrubách, protože disponují příznivými výživovými vlastnostmi. Nicméně i přes to nedochází k významnému využívání otrub mimo krmivářský průmysl, jelikož jejich přídavek negativně ovlivňuje strukturu těsta a jeho senzorycké vlastnosti. Proto se v poslední době vyhledávají jak různé fyzikální (mechanické a tepelné) úpravy, tak i fermentační modifikace otrub ke zlepšení jejich technologických i senzoryckých vlastností [28]

Vzhledem k vysoké produkci pšenice po celém světě není pravděpodobné, že dostupnost pšeničných otrub zaznamená negativní změny, což povede k růstu trhu v prognózovaném období. Očekává se, že globální trh s pšeničnými otrubami (Obrázek 5) poroste během prognózovaného období (2020–2025) přibližně o 4,5 %. Globální trh s pšeničnými otrubami je soustředěn v regionu Asie-Pacifik a Severní Ameriky. Česká republika, stejně tak jako celá Evropa, patří do skupiny se průměrným trhem [29].



Obrázek 5: Vývoj globálního trhu s pšeničnými otrubami v letech 2016–2025 [29]

2.3.2.1 Chemické složení pšeničných otrub

Pšeničné otruby obecně obsahují přibližně 12 % vody, 13–18 % bílkovin, 3,5–3,9 % tuku, 55,0–56,8 % sacharidů, fenolické látky 1,1–1,5 % a popel 3,4–8,1 %. Zastoupení jednotlivých látek lze vyčíst z tabulky (Tabulka 2). Je zřejmé, že pšeničné otruby mají velmi malé zastoupení nasycených tuků. Naopak jsou bohaté na proteiny, vitamíny (vitamín B1, B2), draslík, fosfor a hořčík. Protože pšeničné otruby obsahují 13–18 % bílkovin, lze je považovat za možný zdroj pro extrakci bílkovin. Proteiny z pšeničných otrub mají chemickou strukturu odlišnou od proteinů z pšeničné mouky, což se odráží ve složení aminokyselin. Proteiny endospermu jsou tvořeny hlavně gluteniny a gliadiny, zatímco proteiny otrub primárně obsahují albuminy a globuliny, které mají vyváženější složení aminokyselin. Pšeničné otruby obsahují poměrně velké množství vlákniny [30]. Ve vodě rozpustná vlákna je v pšeničných otrubách přítomna v minoritním množství (méně než 5 %), naopak majoritní je vlákna nerozpustná. Nerozpustná vlákna je skvělý zdroj antioxidantů, které působí proti volným radikálům a zabraňují vážným zdravotním stavům, jako je špatné trávení či rakovina tlustého střeva [31].

Pšeničné otruby mají příznivé účinky na trávicí a kardiovaskulární zdraví. Podporují trávení a dodávají objem stolici, což automaticky poskytuje úlevu od hemoroidů, zácpy, úniku stolice a dalších gastrointestinálních potíží. Konzumace pšeničných otrub zvyšuje pocit sytosti a zabraňuje návalům hladu [31].

Tabulka 2: Chemické složení pšeničných otrub na 100 gramů otrub [30]

Celkový obsah sacharidů	64,5 g	Minerální látky	
Vláknina	42,8 g	Vápník	73 mg
Škrob	12,4 g	Železo	10,6 mg
		Hořčík	611 mg
Celkový obsah tuků	4,3 g	Fosfor	1013 mg
Nasyčené tuky	0,6 g	Draslík	1182 mg
Mononenasyčené tuky	0,6 g	Sodík	2 mg
Polynenasycené tuky	2,2 g	Zinek	7,3 mg
		Měď	1 mg
Proteiny	15,5 g	Mangan	11,5 mg
Vitamíny		Kyselina pantotenová	2,2 mg
Cholin	74,4 mg	Tokoferol (E)	1,5 mg
Niacin (B3)	13,6 mg	Riboflavin (B2)	0,6 mg
Voda	9,9 g	Popel	5,8 g

2.3.3 Valorizace pšeničných otrub

Světová spotřeba energie se zvyšuje v důsledku růstu lidské populace a technologického pokroku. Energie pochází především ze spalování neobnovitelných fosilních paliv (např. zemní plyn, uhlí), která budou během příštích pár let vyčerpána. Odpad z biomasy se díky své obnovitelnosti jeví jako perspektivní náhrada fosilních paliv pro energetické využití [32]. V současné době je biomasa využita k vytvoření asi 10 % primární světové energie, je čtvrtým největším zdrojem energie na světě (po ropě, uhlí a zemním plynu). Primárně se využívá k výrobě tepla a elektřiny. Biomasa představuje nevyčerpatelný zdroj uhlíku, protože její organické složky pocházejí ze zvířat nebo rostlin. Skládá se především ze tří složek, tj. celulóza (40–60 %), hemicelulóza (15–30 %) a lignin (10–25 %). Konkrétní procentuální zastoupení pak závisí na zdroji biomasy [33].

Pšeničné otruby, jako hojně produkovaný nízkonákladový vedlejší produkt mlynářství, byly tradičně určeny především ke krmení zvířat. V současné době se pšeničné otruby používají především jako doplněk krmiva, avšak vedlejší roli hrají i v potravinářském průmyslu. Epidemiologické údaje a vědecké studie prokázaly zdravotní přínosy konzumace celozrnných potravin nebo potravin bohatých na otruby. Avšak díky negativnímu vlivu na výrobní proces a celkový vzhled výrobku je jejich využití v potravinářském průmyslu

minoritní. Nicméně obecné složení a dostupnost pšeničných otrub nabízí velký potenciál pro jejich použití jako substrátu v konceptu biorafinerie. Klasickým způsobem biorafinerie mohou být otruby do značné míry dezintegrovány a rozděleny do frakcí s vysokou čistotou. Z těchto frakcí se dále získávají nové chemikálie, které jsou použity jako prekurzory pro sloučeniny s vyšší polymerací [4][34].

Otruby také obsahují látky, které jsou samy o sobě čisté a cenné, avšak se musí separovat a purifikovat. Z pšeničných otrub lze získat mnoho různorodých látek, jako je například škrob, glukóza, kyselina mléčná, kyselina jantarová, kyselina ferulová, vanilin, protein a další. Všechny tyto látky nachází široké spektrum uplatnění. Škrob může být využit jako výchozí látka pro fermentační procesy produkující další významné látky. Kyselina mléčná je široce používána v potravinářském, kosmetickém, farmaceutickém a chemickém průmyslu, především jako okyselující a konzervační látka. Stejně tak kyselina jantarová nachází uplatnění v potravinářském, tak i farmaceutickém průmyslu především pro kontrolu kyselosti. Vanilin jakožto univerzálně používaná příchut' je využíván jak v potravinách, parfémeh nebo léčivech. Protein získaný z otrub, jako zdroj levných proteinových bílkovin, se využívá jako doplněk nebo dokonce náhražka dražší živočišné bílkoviny. Také by se nemělo zapomínat na to, že otruby mohou být považovány za důležitý zdroj minerálů a solí, což je skutečnost, která doposud nebyla brána v úvahu. Například rostoucí poptávka po hnojivech, jako je fosfát, lze považovat za hnací sílu výzkumu v této oblasti [4][34].

2.3.4 Metody pro extrakci a izolaci proteinů z otrub

Z výše uvedených kapitol je zřejmé, že otruby obsahují jak velké množství bílkovin, tak i velké množství vlákniny. Velké množství vlákniny se stává velkým problémem pro extrakci proteinů. Nejenom že vysoký obsah vlákniny zvyšuje viskozitu, ale i mnoho bílkovin právě spolu s vlákninou je navázaných v buněčných stěnách rostlin. Abychom zvýšili výtěžnost proteinů je potřeba provést rozrušení buňky a získat tak navázané proteiny. Rozrušení buňky může být provedeno mechanicky (broušení, ultrazvuk), ale i nemechanicky (chemikálie, enzymy, zmrazování a rozmrazování pro lýzu buněk). Jodayree, S a kol (2011) aplikovali 4 různé karbohydrázy ve 3 koncentracích do ovesných otrub a hodnotili jejich účinnost na výtěžnost proteinů. Výsledky této studie ukázaly, že předúprava ovesných otrub třemi různými koncentracemi třech enzymů vedla ke zvýšení obsahu bílkovin [35].

Dalším hlavním problémem se zdá být skutečnost, že cereální výrobky skládající se z globulinu, gluteinu, albuminu a prolaminu, jsou rozpustné v jiném rozpouštědle. Existuje řada metod, které se mohou využívat k extrakci bílkovin z otrub. Jedna z nevyužívanějších metod je alkalická extrakce. Tato metoda byla aplikována při řešení této diplomové práce a její podrobnější popis je uveden v další podkapitole. Mezi další metody používané k získání proteinů je subkritická extrakce vodou, využití fyzikálních technik (koloidní mletí, homogenizace, vysokorychlostní mletí, vysoký tlak, zmrazování a rozmrazování a další), enzymatická a kaskádová extrakce (kombinace fermentace a alkalické extrakce) [36][37].

2.3.4.1 Izolace proteinů alkalickou extrakcí

Alkalická extrakce je založena na principu rozpustnosti proteinů v alkalickém prostředí a následném vysrážení v jejich izoelektrickém bodě. Alkalická extrakce je hojně využívána v řadě studií, kdy například v publikaci [35] jí kombinovali s enzymatickou předúpravou. Princip extrakce je více méně vždy skoro stejný. Nejprve dojde ke smíchání otrub s NaOH, kde dojde k rozpuštění bílkovin. Po centrifugaci výsledný supernatant je okyselen na hodnotu okolo 4 pH, což způsobí precipitaci proteinů. Supernatant s vysráženými bílkovinami je opět vložen do centrifugy, díky které získáváme vysrážené bílkoviny ve formě sraženiny. V publikaci od Jodayree, S a kol (2011) byla sraženina ještě promyta a poté až lyofilizována. Výsledný izolát při klasické alkalické extrakci obsahoval 54 % bílkovin. Pokud k alkalické extrakci zařadili i enzymatickou předúpravu, tak obsah bílkovin v izolátu se dostal na hodnotu 82 % (použití enzymu amyloglukosidázy) [35].

Proteinový izolát z pšeničných otrub

Neplnohodnotné zastoupení esenciálních aminokyselin v rostlinných bílkovinách (oproti živočišným bílkovinám) je považováno za hlavní důvod omezení jejich využití v potravinářském průmyslu. Při srovnání celkového obsahu esenciálních aminokyselin (EAA) v proteinovém izolátu z pšeničných otrub (OPI) s denními požadavky FAO/WHO ve stravě se OPI jeví jako vynikající zdroj EAA s téměř dvojnásobným množstvím všech požadovaných aminokyselin [38]. Porovnání celkového aminokyselinového profilu OPI a pšeničných otrub je vypsáno v tabulce (Tabulka 3).

Tabulka 3: Profil jednotlivých aminokyselin pšeničných otrub a OPI (uvedeno na 100 g proteinu) [38]

Esenciální AMK	Pšeničné otruby [g]	OPI [g]	Neesenciální AMK	Pšeničné otruby [g]	OPI [g]
Izoleucin	0,5	2,5	Arginin	0,9	7,1
Leucin	0,9	4,7	Kys. glutamová	3,1	10,4
Lysin	0,6	3,5	Kys. asparagová	0,9	5,1
Methionin	0,2	1,0	Alanin	0,7	3,4
Fenylalanin	0,6	2,9	Glycin	0,7	3,7
Threonin	0,5	2,2	Serin	0,6	3,0
Valin	0,7	3,9	Prolin	0,9	2,8
Histidin	0,4	2,2	Tyrosin	0,3	1,8
Tryptofan	-	-	Cystin	-	-
Celkové EAA	4,3	22,8	Celkové NEAA	8,2	37,4

Veškeré aminokyseliny OPI byly ve vyšším množství než u pšeničných otrub. Otrubový proteinový izolát lze klasifikovat jako ideální protein s dobrými hladinami lysinu a threoninu, které patří mezi limitující aminokyseliny v cereálních potravinách. Profil esenciálních aminokyselin odhalil hojné zastoupení leucinu, lysinu a valinu. Mezi nejhojněji zastoupené neesenciální aminokyseliny se řadí kyselina glutamová, kyselina asparagová, glycin a arginin. Významným faktorem je i poměr argininu a lysiny, který je užitečný při snižování cholesterolu. Díky vhodnému poměru a vyváženým profilem esenciálních aminokyselin se OPI řadí mezi významné nutriční doplňky v potravinářském průmyslu [38].

Z výzkumu, který provedl Nabeel, T a kol (2019), plyne, že OPI byl obohacen o fytoosteroly a aminokyseliny oproti pšeničným otrubám. Vlivem alkalické extrakce došlo k osminásobnému snížení obsahu fenolových kyselin a asi poloviční antioxidační aktivitě v porovnání s pšeničnými otruby. Dále OPI vykazoval vynikající funkční vlastnosti, pokud jde o vysokou rozpustnost v širokém rozmezí pH a dobrou kapacitu absorpce vody a tuku. Díky tomuto zjištění se stává OPI slibnou složkou pro potravinářské produkty, zejména jako jsou cereálie, pečené potraviny, zpracované maso a nápoje [38].

Aby došlo k ověření, zda se opravdu jedná o velmi slibný produkt, tak Nabeel, T a kol (2020) začlenili OPI do výroby těstovin a chleba. Cílem bylo zjištění, jak OPI ovlivní technologické vlastnosti konečného produktu a zda se jeví jako lepší způsob ke zvýšení nutričních vlastností, oproti pšeničným otrubám. Ukázalo se, že fortifikace špaget pomocí OPI zlepšila proteinový a aminokyselinový profil špaget při použití do 10 % OPI na 100 gramů těstovin. Při fortifikaci 20 gramů OPI na 100 gramů těstovin se snižovala pevnost a vytvářel se nežádoucí vzhled. Naproti tomu chléb měl vyšší citlivost při začlenění OPI a vykazoval negativní změny už při použití 1 gramu OPI na 100 gramů chleba. Při vyšších úrovních fortifikace byly zjištěny významně negativní dopady na objem bochníku, pevnost střídky a barvu. Podle Tang a Liu a kol (2017) začlenění nelepkových proteinů interferuje s vývojem lepku, a proto má negativní dopady na pekařské výrobky, zvláště když množství nelepkových proteinů je vyšší než 5 %. Změny v objemu chleba způsobené začleněním OPI do směsi mouky lze přičíst oslabení síly lepku, které bylo způsobeno rozpustnými proteiny (albumin a globulin), které obsahuje OPI [39].

Také je možné, že obsah lipidů a další složky OPI (použité v této studii) mají významný vliv na kvalitu chleba. Otruby obsahují vysoké hladiny nepolárních lipidů, u kterých bylo zjištěno, že snižují objem bochníku prostřednictvím destabilizace plynových buněk [39].

2.4 Pekárenská technologie

Pekařské výrobky jsou široce konzumovány, a proto byly stanoveny zvláštní požadavky na jejich kvalitativní vlastnosti. Zejména u chleba je pro spotřebitele důležitý tvar, barva a struktura. Chléb se vyznačuje takovými hodnotami vodní aktivity, které umožňují jeho prodejnost pouze po krátkou dobu. Jeho trvanlivost je omezena především kvůli možnému mikrobiálnímu znehodnocení nebo zatuchnutí. Chléb je po upečení bez životaschopných plísní a bakterií, ale některé bakteriální spory mohou přežít proces pečení nebo může dojít

ke kontaminaci před dokončením balení. V poslední době, aby se dosáhlo delší trvanlivosti pekařských výrobků, se používají podmínky chlazení. Také se zkoumají nové technologie v balení. Jedna z novějších metod balení, které jsou dnes k dispozici široce používané v mnoha typech potravinářských produktů, je balení v modifikované atmosféře (MAP).

S tím, jak se pekařské výrobky stávají hlavní součástí mezinárodního potravinářského trhu, prochází pekařský průmysl obdobím rychlých změn. Pekařský průmysl musí reagovat na trendy zdravé výživy a požadavky spotřebitelů na čerstvé produkty [40].

2.4.1 Suroviny pro pekárenskou výrobu

Mezi základní pekárenské suroviny se řadí mouka, voda, sůl, cukr a droždí. Další suroviny používané k zajištění specifických organoleptických a fyzikálně-chemických vlastností pečeného produktu jsou vejce, tuk, sacharidy, mléko, ovoce, koření, semena, náhradní sladidla, jádroviny a kakaové boby [41].

2.4.1.1 Základní suroviny pro pekárenskou výrobu

A) Mouka

Existuje mnoho odrůd pšenice, které se využívají k výrobě mouky. Obecně platí, že pšenice je buď tvrdá (obsahuje 11–18 % bílkovin) nebo měkká (obsahuje 8–11 % bílkovin). Právě kvůli vyššímu obsahu bílkovin se mouka určená k pečení chleba vyrábí z tvrdé pšenice. Vysoké zastoupení bílkovin v mouce souvisí s vyšším obsahem lepku, který umožní chlebu lépe kynout. Mouka určená k pečení koláčů a pečiva se vyrábí z měkké pšenice. Směs tvrdé a měkké mouky se nazývá univerzální mouka. Mouka obvykle obsahuje i malé množství přísad, například pro získání bělejší mouky se využívají různá bělidla (benzoylperoxid). Ke zlepšení pečicí kvality mouky se přidávají oxidační činidla (známá také jako zlepšovače), jako je bromičnan draselný, oxid chloričitý a azodikarbonamid. Také se k mouce může přidávat kypřící činidlo (fosforečnan vápenatý), který nahrazuje přítomnost droždí. Většina států vyžaduje, aby mouka obsahovala přidané vitamíny a minerály, které nahradí ty „ztracené“ vitamíny při mletí. Nejdůležitější z nich je železo a vitamíny skupiny B, zejména thiamin, riboflavin a niacin.

Pšeničná mouka určená pro pekařské účely je charakterizována svou pekařskou jakostí. Pekařská jakost je soubor vlastností, které umožňují s dalšími surovinami vytvořit po vyhnětení výrobek, který má dobrý objem, pěkný vzhled, pružnou střídku, křupavou kůrku a dobrou vůni a chuť. V praxi se tato pekařská jakost popisuje dvěma pojmy – silou mouky a plynotvornou schopností mouky. Síla mouky je charakterizována kvalitou a množstvím bílkovin (především lepem). Slabé mouky poskytují těsta, která ztrácejí rychle svou stabilitu, povolují a mají sklon se roztékat. Díky tomu vyžadují šetrné hnětení a krátkou dobu zrání. Naopak silné mouky vytvářejí těsta, která jsou schopná zadržet více kvasných plynů a udržet si svůj tvar. Vyžadují delší dobu hnětení a delší dobu zrání. Plynotvorná schopnost mouky je dána strukturou škrobu a aktivitou amylolytických enzymů [41]. Přestože se většina mouky vyrábí z pšenice, lze ji vyrobit i z jiných škrobových rostlinných potravin, jako je ječmen, pohanka, kukuřice, fazole lima, oves, arašíd, brambory, sójové boby, rýže a žito [42].

B) Voda

Jeden z nejhlavnějších ukazatelů pitné vody je její tvrdost. Voda používaná do pekařských těst by měla být středně tvrdá, tj. voda která obsahuje okolo 120–180 ppm vápenatých a hořečnatých iontů. Pokud je voda příliš měkká, tak dochází k tomu, že těsto je více lepkavé, a naopak snížení vaznosti vody těsta. Naopak tvrdá voda zpomaluje fermentaci a příliš ztužuje lepek. Při vysoké tvrdosti vody se doporučuje použít více droždí, nebo snížit droždí a přidat sladovou moučku [43].

Voda se v pekárenské technologii nepoužívá pouze při přípravě těst, ale i k výrobě vodní páry. Úlohou vodní páry je rozpouštět dextriny a tvořit z nich tenkou vrstvu, která dodává pečivu vysoký lesk. Pokud je pečivo matné, vlhčení bylo nedostatečné. Voda na vodní páru by měla být co nejměkčí, aby nezanášela potrubí a trysky napařovacího zařízení [43].

C) Droždí

Droždí tvoří ušlechtilé kvasinky rodu *Saccharomyces cerevisiae* a v těstě vyvolávají biochemickou přeměnu cukru na ethanol a oxid uhličitý, známé pod názvem ethanolové kvašení [41]. Nejvíce používané droždí je čerstvě lisované, a to kvůli ekonomickým důvodům. Čerstvě lisované droždí obsahuje až 74 % vody a musí se uchovávat v chladu, jinak ztratí svou aktivitu. Další typem je granulované droždí, které se dodává pro velkoodběratelé v pytlích. Vzhledem k velkému povrchu je velmi citlivé na styk se vzdušným kyslíkem. Od lisovaného droždí se aktivně sušené droždí liší především nižší vlhkostí, která se pohybuje okolo 9 %. Aktivní sušené droždí má delší trvanlivost, ale při použití je nutná jeho aktivace ve vodě [43].

D) Cukr (sacharóza)

Cukr nemá bezprostředně technologický význam při výrobě pečiva, avšak má velký význam pro sensorické vlastnosti hotových výrobků. Nejenom že díky cukru dosáhneme sladké chuti, ale současně se přítomností cukru docílí pocitu chuťové plnosti. Při technologickém postupu výroby těst kynutým droždím slouží především jako zdroj zkvasitelných cukrů pro kvasinky obsažené v droždí [43].

Do jemného pečiva se přidává kolem 13 % cukru, což příznivě ovlivňuje chuť. Cukr zjemňuje pórovitost střídy a zvýrazňuje barvu kůrky. Na druhou stranu však snižuje vaznost mouky a vysoké dávky sacharózy brzdí kvašení (snižují aktivitu kvasinek) [43].

E) Sůl

Sůl jako součást pekárenské technologie nechybí v žádné receptuře jak pro kynuté, tak i sladké výrobky. Jedlá sůl je definována jako krystalický produkt, který obsahuje nejméně 97 % chloridu sodného v sušině. Používá se nejenom jako chuťová přísada, ale i jako regulátor důležitých technologických procesů. Přídavek soli má vliv na reologické vlastnosti těsta, kdy ztužuje konzistenci lepkové bílkoviny, ale současně snižuje vaznost mouky. Vlivem toho, že sůl brzdí veškeré enzymatické a kvasné procesy, přidává se až do těsta, nikoliv do kvasných předstupňů. Sůl rovněž podporuje přiměřené zbarvení kůrky během pečení [43].

2.4.1.2 Vedlejší suroviny pro pekárenskou výrobu

A) Tuky

Tuk jako důležitá pekařská surovina poskytuje výslednou jemnost produktu. K výrobě se používá jak kapalný tuk, tak i pevný. Je důležitý především pro zvětšení pórovitosti a objemu výrobků, prodlužuje vláčnost a trvanlivost. Jedinou nevýhodou je poměrně vysoká energetická hodnota tuků. V současné době se ve velké míře používají buď kapalné tuky – olej řepkový, nebo pevné tuky – margarín, máslo, sádlo [43].

B) Vejce

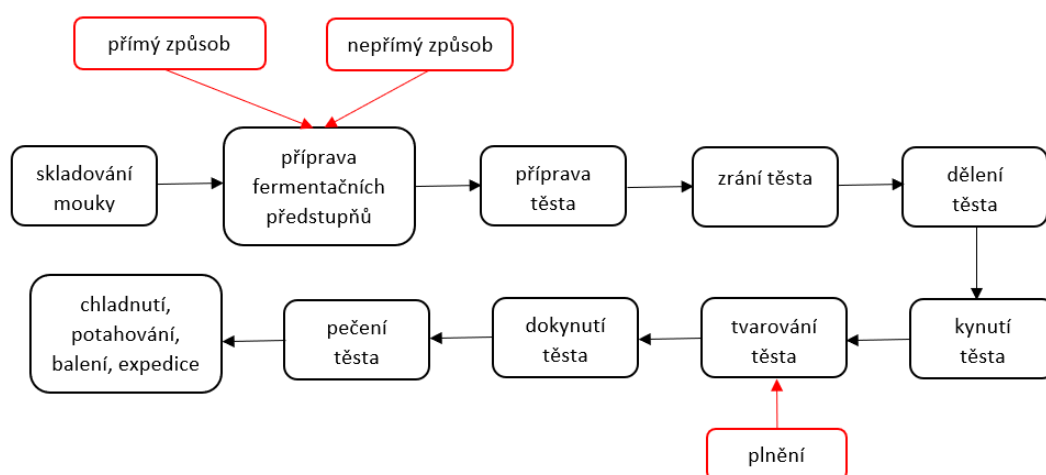
Použití čerstvých slepičích vajec je velmi rizikové, a proto se v pekárenské technologii používají sušené či zmražené vejce, popřípadě vaječné složky. V dnešní době se vaječné výrobky dodávají s cukrem, kde podíl cukru je tak vysoký, aby nedošlo k rozvoji bakterií. Vejce mají všestranný zlepšující účinek, například zvyšují nutriční hodnotu pečiva (obsahují plnohodnotné bílkoviny, vitamíny, minerální látky) [43].

C) Mléko a mléčné produkty

Stejně tak jako vejce, tak i mléčné výrobky jsou dodávány v sušené formě. Dodává se odtučněné mléko, sušený sýr, sušená syrovátka či sušené podmásli. Mléčné výrobky jsou dodávány v sušené formě kvůli tomu, že jsou stabilnější než mléko tekuté. Mnoho pekáren využívá zpožděné pečení, kdy těsto je vloženo do pekáreny, ale proces pečení započne až za několik hodin. Díky tomu, že těsto není uchováváno v chladu, je nutné použití sušeného mléka kvůli bezpečnosti [43][44].

2.4.2 Technologie pekárenského výrobního postupu

Na obrázku (Obrázek 6) je vyobrazeno schéma technologie výroby pekařských výrobků. Jednotlivé kroky technologického procesu a automatizované výroby budou detailněji popsány v následujících podkapitolách.

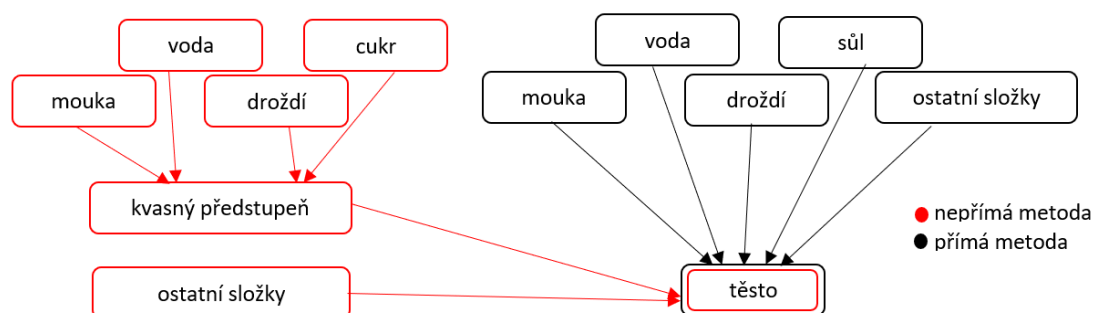


Obrázek 6: Technologie pekárenského výrobního procesu

Příprava fermentačních předstupňů

Jednou z nejdůležitějších technologických operací je příprava samotného těsta, protože představuje základ pro výrobu kvalitního jakostního výrobku. Na přípravu těsta se používají dva způsoby vedení – přímé a nepřímé. Způsob vedení volíme podle vybavenosti pekárny, druhu vyráběného zboží či kvality surovin [45].

Na obrázku (Obrázek 7) vidíme schéma přímého a nepřímého vedení těsta.



Obrázek 7: Technologie přímého a nepřímého vedení těsta

A) Přímé vedení těsta

Princip přímého vedení spočívá v tom, že se veškeré suroviny a přísady (podle dané receptury) nejprve smíchají, vyhnete se těsto a nechá se zrát. Tento proces je výhodnější z hlediska času, náročnosti a současně je méně nákladnější z hlediska požadavků na suroviny [46].

B) Nepřímé vedení těsta

Jak už naznačuje název, nejedná se o jednokrokový proces. Nejprve dojde k vytvoření kvasného předstupu, který vznikne smísením části mouky, vody a celého recepturního množství droždí. Kvasný předstupeň se nechá prokvasit a poté až se přidávají ostatní suroviny. Z takto připravených surovin vzniká těsto, které opět zraje. Nepřímé vedení těsta je náročnější na čas, prostor a odbornou zkušenost pracovníka, naopak výhodou nepřímého vedení těsta je menší nárok na suroviny [46].

Hnětení a zrání těsta

V první fázi hnětení dochází k promíchání a homogenizaci všech surovin. V první řadě se voda dostává do kontaktu s moučným zrnem a až po určité době, vlivem difúze, se dostává ke složkám mouky. Po proniknutí vody k bílkovinám a polysacharidům dochází k bobtnání a vzniká spojitý gel. Zvyšuje se viskozita gelu, a tím i odpor těsta vůči napínání. Také se zvyšuje pružnost těsta. Tento proces od smíchání veškerých surovin až po dosažení maxima odporu těsta nazýváme **vývin těsta**. Jestliže dosáhneme optima, koloidní složky nepřijímají další vodu. Pokud se pokračuje v hnětení, dochází ke snižování viskozity a uvolňuje se část vody. Existují 4 způsoby hnětení těst – diskontinuální, kontinuální, polokontinuální a kontinuální dělicí způsob [43].

Ihned po vyhnětení těsta dochází k zrání, kde probíhají procesy alkoholového kvašení. Kvasinky rodu *Saccharomyces cerevisiae* spotřebovávají cukry, které přeměňují na oxid uhličitý a ethanol [43]. Zrání těsta jak u přímého, tak nepřímého vedení by mělo probíhat v místnosti s teplotou okolo 25 °C. Vyšší teplota by mohla způsobit tvorbu kyselin a nahrazení ethanolového kvašení, mléčným. Čas zrání je individuální a může se pohybovat v rozmezí pár minut, až po dobu několika hodin. Zrající těsto by se mělo v průběhu zrání jednou, či dvakrát přetuzit, aby došlo k obohacení o potřebný kyslík, který je důležitý k rozvoji kvasinek a zpevnění lepku. Zrání těsta je závislé na teplotě, způsobu hnětení, kvalitě mouky a množství droždí [46].

Dělení, tvarování a kynutí těsta

Po vyžrání je ve většině případů těsto děleno na bochánek těsta (klonek). Těsto se dělí na nepravidelný tvar klonek pomocí kontinuálních děliček. Na tvarování výsledného výrobku se používají dvě metody. Těsto je vyvalováno na tenké plátky a pak rolováno do tvaru rohlíku, vek. Druhý způsob vyrábí podlouhlý bochánek, do kterého vyráží forma housky apod. Krátké období zvané předkynutí je mezi dělením na klonky a tvarování klonků. Po vytvarování výsledného tvaru dochází k uložení na plech a přesunu do kynárny. Vykynuté výrobky se převážejí do boxové pece [43].

Pečení

Vlivem pečení dochází ke zničení mikroorganismů, inaktivaci případných patogenů a enzymů, čímž dochází k minimalizaci změn vyvolaných lipázami a proteázami. První fáze se nazývá zapékání a probíhá při nejvyšší teplotě (200–280 °C). Druhá fáze je vypékání a probíhá při teplotě okolo 200 °C. Doba pečení je individuální a trvá přibližně okolo 12–15 minut u běžného pečiva, u chleba je to přibližně 55 minut. Proces pečení ovlivňuje jak denaturaci bílkovin, mazovatění škrobu, tak i výsledné senzorycké vlastnosti (barva, chuť, textura) [46].

Chladnutí, expedice

Doba vychladnutí je závislá na velikosti výrobku. Konečný výrobek musí být velmi dobře vychladnutý, a pak až následně zabalený. Po zabalení následuje poslední krok, expedice [43].

2.5 Hodnocení technologické jakosti pšenice

Metody posuzování jakosti obilovin dělíme na přímé a nepřímé metody. Mezi metody přímé řadíme pokusné pečení a pokusný zámel. Vzhledem k tomu, že tyto metody jsou velice náročné na čas, prostor, zařízení i personál, tak se především využívají nepřímé metody. Nepřímé metody neposuzují jakost mouky komplexně, ale pouze její určitou vlastnost [47]. Tyto metody budou detailněji popsány v následujících podkapitolách.

2.5.1 Stanovení vlhkosti

Stanovení vlhkosti je jeden ze základních parametrů při analýze kvality pšenice nebo mouky. Podle ČSN ISO 712 je vlhkost definována jako úbytek hmotnosti vzorku, vyjádřený v procentech, ke kterému dojde za podmínek dané metody. Průměrná hodnota vlhkosti je

okolo 14 %. Pokud je vlhkost vyšší (přes 14,5 %) tak se do pšenice (nebo do mouky) mohou dostat škůdci, kteří mohou znehodnotit produkt. Stanovení vlhkosti lze provést různými metodami. Výběr metodiky záleží na výsledné přesnosti, protože každá metoda je jinak přesná [48].

Popis jednotlivých metod pro určení vlhkosti [47]:

- Klasická metoda – dle ČSN EN ISO 712, sušení probíhá při teplotě 130 °C v elektrické sušárně
- Speciální sušárny – využívána je gravimetrická sušárna (sušárna se zabudovanou váhou), velmi rychlá a poměrně přesná metody
- Speciální vlhkoměry – např. vlhkoměry firmy Brabender, které pracují na principu rychlosušení při teplotě 200 °C
- NIR analyzátor – např. NIR analyzátory značky GRANOLYSER, který pracuje na principu měření diodového pole [49]

2.5.2 Stanovení objemové hmotnosti

Objemová hmotnost zvaná také jako „hektolitrová váha“ je poměr hmotnosti obilovin k objemu, který zaujmají obiloviny o nasypání do odměrné nádoby za přesně daných podmínek. Tento poměr se vyjadřuje v kilogramech na jeden hektolitr. Jde o vyjádření řady vlastností a znaků, které souvisejí s velikostí obilek, tvarem, vlhkostí a povrchem zrna. Optimální objemová hmotnost pšenice je v rozmezí 78 až 82 kg/hl. Její hodnota je závislá na pěstitelských podmínkách, zdravotním stavu, ročníku, odrůdě pšenice a polehlosti [50].

2.5.3 Stanovení tvrdosti zrna

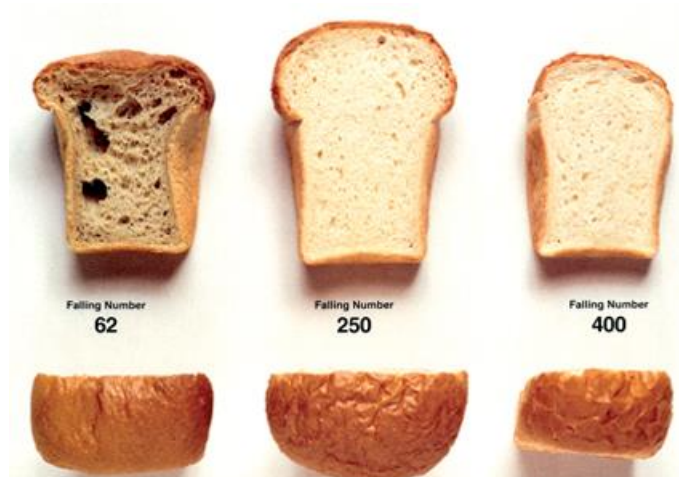
Tvrdość zrna charakterizuje moučný endosperm, tj. diastatickou sílu mouky, schopnost mouky produkovat kvasné plyny, množství a jakost bílkovin v zrně a narušení struktury škrobu. Těsto z tvrdých zrn pšenice vyžaduje specifické zacházení (delší dobu hnětení, kynutí). Naproti tomu těsta z pšenice s měkkými zrny jsou vhodné pro použití v pečivárnách, protože obsahují slabý bílkovinný komplex a málo poškozeného lepku [47].

2.5.4 Stanovení čísla poklesu

Číslo poklesu (Falling number – FN) je čas (vyjádřený v sekundách) od ponoření viskozimetrické zkumavky (která obsahuje vodný gel – směs mouky a vody) včetně času potřebného k míchání viskozimetrickým míchadlem a času potřebného k poklesu míchadla o určenou vzdálenost ve vodném gelu, který je obsažen ve viskozimetrické zkumavce [47]. Pro správné pečení je nezbytné určité množství alfa-amylázy. Alfa-amyláza štěpí škroby, aby poskytla cukry, které pomáhají podporovat proces fermentace. Množství přítomného enzymu může mít přímý vliv na kvalitu vyrobeného chleba. Když je aktivita alfa-amylázy správná, je dosaženo velkého objemu chleba s pevnou a měkkou strukturou (FN = 250). Pokud je aktivita příliš vysoká, může dojít k lepkavé střídkce chleba a nízkému objemu (FN = 62). Je-li aktivita příliš nízká, může vzniknout suchá střídkca chleba se zmenšeným objemem (FN = 400) Hodnota FN má inverzní vztah k aktivitě alfa-amylázy,

což znamená, že čím vyšší je aktivita alfa-amylázy, tím nižší je hodnota FN a naopak [51]. Na obrázku (Obrázek 8) je vyobrazen chléb s rozdílnými hodnotami FN.

Stanovení čísla poklesu se v praxi využívá například k včasnému odhalení porostlých partií zrna, pro úpravu čísla poklesu mouky na požadovanou hodnotu pomocí přísady sladové moučky, k míchání obilí či mouky na směs požadovaného čísla poklesu apod [47].



Obrázek 8: Porovnání chleba s různými hodnotami FN[51]

2.5.5 Amylograf

Podobně jako číslo poklesu, tak i amylograf se používá k posouzení vlastností škrobu a amylolytických a některých dalších enzymů, které jsou přítomny v mouce. Principem tohoto přístroje je simulovat počáteční průběh pečení. Nejdříve dojde k zahřívání suspenze mouky ve vodě rychlostí 2 °C za minutu. Vlivem zahřátí dojde k bobtnání škrobových zrn mouky, která zvětšují svůj objem a při dané teplotě popraskají. Vlivem poprskání uvolní svůj obsah do roztoku, což se nazývá mazovatění škrobu. Při mazovatění škrobu je viskozita roztoku nejvyšší a vlivem působení mechanického namáhání (míchání) a doznívající činnosti enzymů se viskozita opět snižuje. Odpor, který míchadlo musí překonávat při zvyšující se viskozitě, je zaznamenán v podobě amylografické křivky [47].

Amylografická křivka (Obrázek 9) odpovídá okamžité viskozitě škrobové nebo moučné suspenze a vznikajícího škrobového mazu. Okolo 13 minuty dochází k mazovatění škrobu a uvolňování amylozových molekul do roztoku. Vlivem uvolňování dochází k dezorganizaci struktury amylopektinových makromolekul uvnitř škrobového zrna. Nejdůležitější charakteristikou je amylografické maximum (na obrázku označeno zeleným křížkem), který je udáván v amylografických jednotkách (Aj) a je to okamžik největší viskozity [52].



Obrázek 9: Ukázkové znázornění amylografické křivky [47]

2.5.6 Hodnocení bílkovino-proteinázového komplexu

A) Obsah mokrého lepku, gluten index

Mokrý lepek je ve vodě nerozpustný podíl pšeničné bílkoviny, který se získává vypíráním zadělaného těsta, které je zbavené přebytečné vlhkosti ručním či mechanickým způsobem (vypírání pomocí karuselového vypírače, NIR technika, glutomatik) [47]. Pomocí vypírání získáme obsah, ale je žádoucí znát i jeho kvalitu. Kvalita lepku se vyjadřuje jako gluten index. Gluten index nabývá hodnot od 0 % do 100 %. Pokud se hodnota lepku přibližuje k dolní hranici, znamená to, že je měkký a rozplývavý, tzn. těsto, které bude obsahovat tento lepek nebude držet tvar. Naopak, pokud se přibližuje horní hranici, je charakterizován jako pevný lepek [53].

B) Celkový obsah bílkovin – Kjeldahlova metoda, Dumasova metoda

Kjeldahlova metoda je velmi rozšířenou technikou pro stanovení obsahu dusíku v potravinách, nápojích, farmaceutických produktech, biologických materiálech a v mnoho dalších produktech. Skládá se ze tří kroků. Nejprve dochází k mineralizaci vzorku, který obsahuje dusík. Tato mineralizace se provádí digescí koncentrovanou kyselinou sírovou za přítomnosti katalyzátoru a soli podporující ebullioskopický efekt a způsobuje konverzi dusíku na kationt amonný. V druhém kroku následuje přidání alkálie, díky které dochází k transformaci amonných kationtů na amoniak. Získaný amoniak se vydestiluje vodní párou jímáním do kyselé předlohy, kdy jako kyselá předloha se nejčastěji využívá kyselina trihydrogenboritá, kyselina sírování nebo kyselina chlorovodíková. Posledním krokem je titrace získaného destilátu v předloze silnou bází. Při titraci se využívá Tashirův indikátor, což je směs methylové červeně a methylové modře. Barevný přechod můžeme vizuálně pozorovat při pH kolem 5,2 [54].

Dumasova metoda, známá také jako spalovací metoda, je primární metoda stanovení dusíku a bílkovin zajišťující rychlé výsledky, snadné použití a bezpečnost. Řadí se mezi metody přímé, tedy bez nutnosti mineralizace. Stanovení Dumasova dusíku vyžaduje dobře

homogenizované vzorky zahřáté ve vysokoteplotní peci, kde dochází k rychlému spalování při teplotách nad 1000 °C v přítomnosti čistého kyslíku. To produkuje převážně vodu, oxid uhličitý a dusík ve formě různých oxidů. Tato plynná směs prochází redukční komorou (zahřátou cca na 650 °C) obsahující měď. Na vrstvě rozžhavené mědi se redukují oxidy dusíku na elementární dusík. Různé lapače odstraňují zbytkovou vodu a oxid uhličitý. Celkový dusík je měřen pomocí tepelně vodivostního detektoru.

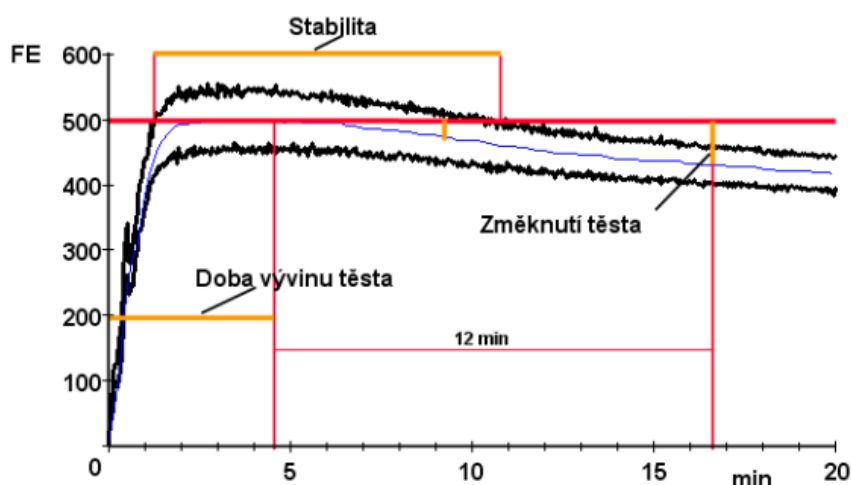
Výsledky získané Dumasovým stanovení dusíku jsou obvykle o něco vyšší než u Kjeldahla, protože jsou detekovány i heterocyklické sloučeniny a sloučeniny dusíku (dusitany, dusičnany) [55].

2.5.7 Reologické hodnocení

Reologie je studium toho, jak se kapalné, pevné nebo polotuhé materiály deformují nebo tečou, když na ně působí síla nebo napětí. V pekařské a cereální vědě je reologie zvláště zajímavá. Těsto je viskoelastický materiál, který se chová jako kapalina i pevná látka. Vykazuje viskózní (tekuté látky) a elastické (pevné látky) chování, když na něj působí síla. Za tuto viskoelastickou povahu jsou zodpovědné bílkoviny a polysacharidy tvořící lepek, jakmile jsou hydratovány a důkladně promíchány. Na základě reologických měření těst je možné předpovídat chování materiálu v technologickém procesu. Nejčastěji je používán farinograf, extenzograf a alveograf [56].

A) Farinograf

Dle ČSN ISO 5530–1 umožňuje farinograf charakterizovat kvalitu mouky na základě odolnosti těsta (z ní vyrobeného) proti mechanickému hnětení za definovaných podmínek, kterými jsou počet otáček lopatek, teplota a velikost hnětenky. Princip této metody spočívá v tom, že se k pšeničné mouce přidá destilovaná voda, tak aby se vytvořilo těsto maximální konzistence (500 Brabenderových jednotek). Toto těsto se dále hněte po stanovenou dobu a průběh hnětení se registruje v podobě farinografické křivky [47]. Tato křivka je vyobrazena na obrázku (Obrázek 10).



Obrázek 10: Ukázková farinografická křivka pšeničného těsta [47]

Z farinografické křivky můžeme určit:

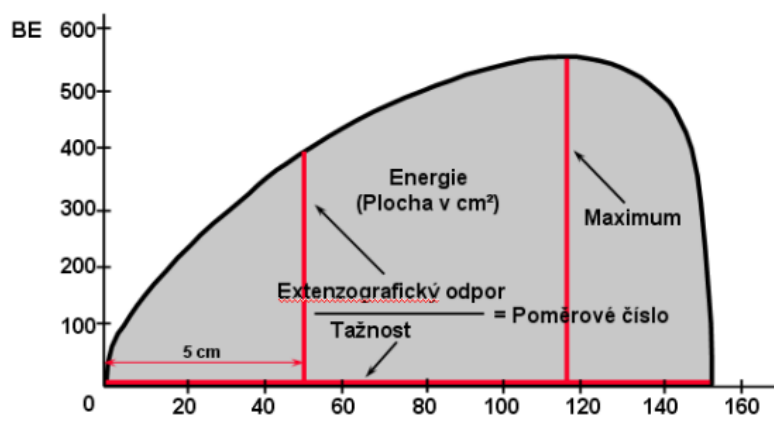
- 1) Stabilita těsta – je doba v minutách od bodu, kdy horní linie křivky překročí konzistenci 500 B.j do doby, kdy jí překročí naposledy. V ČR se stabilita mouky pohybuje okolo 4–5 minut.
- 2) Vývin těsta – udává dobu v minutách, od přidání vody až po první známku změknutí těsta, potřebnou k vyhnětení těsta do maximální konzistence.
- 3) Pokles konzistence – neboli stupeň měknutí těsta, který se určuje z rozdílu mezi středem křivky na konci vývinu těsta a středem křivky po 12 minutách od konce doby vývinu těsta. U středně silných mouk se v ČR pokles konzistence pohybuje v rozmezí 60–100 B.j.
- 4) Farinografická vaznost mouky – tj. množství vody přidané k mouce k dosažení maximální konzistence [47].

Jak je uvedeno v předchozích kapitolách, do mouky mohou být přidány různé fortifikanty ke zlepšení její nutriční hodnoty. Ve studii, kterou provedl Lazo–Vélez, M a kol (2015) studovali, zda přidané bílkoviny ze sójových bobů (SB) nějakým způsobem ovlivní reologické vlastnosti těst. Jako přídatek sójových proteinů využili 4 různé sójové mouky a 1 sójový koncentrát, které se lišily funkčními vlastnostmi. Očekávalo se, že reologické vlastnosti i pečící výkon bude ovlivněn. Přidání různých zdrojů SB zlepšilo absorpční kapacitu těsta přibližně o 3,5 jednotek, což představuje zvýšení asi o 6 % ve srovnání se samotnou pšeničnou moukou. Tyto rozdíly souvisejí s povahou proteinů ze SB, které jsou bohaté na hydrofilní a vazebné proteinové části, které zvyšují absorpci vody [57].

Lze podotknout, že většina sójových mouk a sójových koncentrátů negativně ovlivňují reologické vlastnosti těsta. Avšak díky farinografické metodě lze zjistit, jaké mouky jsou vhodnější než ostatní. Obzvláště by se měla brát v potaz pozitivní a negativní korelace. Časy vývinu těsta pozitivně korelovaly s WSI (index rozpustnosti dusíku) a PDI (disperzibilita proteinů) a vykazovaly vysokou negativní korelaci s WAI (absorpce vody). Velmi vysoká korelace s PDI by mohla být zapříčiněna rozpustnými proteiny, které ovlivňují dobu dosažení maximální konzistence, díky schopnosti těchto molekul vytvářet gel [57].

B) Extenzograf

K měření odporu a tažnosti těsta se využívá extenzograf, který nachází široké uplatnění ve mlýnech, pekárnách a při zkoušení zlepšujících prostředků. Těsto, které se připraví ve farinografu, se podle předepsaného způsobu vytvaruje do tvaru válečku a nechá se odležet. Odležené těsto se natahuje hákem přístroje do přetržení, poté se opět spojí, tvaruje a nechá se odležet. Celá tato zkouška se opakuje ještě jednou, někdy i dvakrát. Odpor, který těsto háku klade je zaznamenáván registračním zařízením. Výsledným záznamem je extenzografická křivka, která charakterizuje vlastnosti těsta i mouky [47]. Tato křivka je vyobrazena na obrázku (Obrázek 11).



Obrázek 11: Ukázková extenzografická křivka pšeničného těsta [47]

Z extenzografické křivky můžeme určit:

- 1) Extenzografické maximum – je definováno jako výška křivka v nejvyšším bodě. Nízká hodnota extenzografického maxima je typická pro slabé mouky. Takovéto těsto je roztékavé a lepivé. Kvalitní mouky vykazují maximum kolem hodnot 450–600 E.j. Výrazné zvýšení maxima lze dosáhnout přidavkem oxidačních látek k mouce (kyselina askorbová) [47].
- 2) Odpor těsta – je definován jako síla, kterou těsto působí proti natahování. Je to výška křivky po 5 cm od počátku natahování těsta a udává se v E.j [47].
- 3) Tažnost těsta – je délka křivky od počátku natahování až do přetržení těsta. Optimální tažnost u neupravených mouk je kolem 140–170 mm. Přidavkem oxidačních látek dochází ke snížení tažnosti těsta [47].
- 4) Extenzografický poměr – je poměr mezi odporem těsta a tažnosti. Spolu s energií těsta charakterizuje chování a stabilitu těsta. Pro pekařské mouky se udává jako optimální hodnota 2 – 2,5, u speciální mouk může být hodnota vyšší i nižší [47].
- 5) Extenzografická energie – je plocha, která je ohraničená křivkou a nulovou základnou. Je to parametr, který je měřítkem zpracovatelnosti mouky a udává se v cm^2 . Je to ukazatel toho, zda těsto bude během zrání a kynutí měknout rychle nebo zda bude elastické s dobrými zpracovatelskými vlastnostmi. Čím nižší energie, tím je těsto citlivější k podmínkám zpracování a výsledný objem výrobku je malý [47].

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Chemikálie

Deminerálovaná voda, destilovaná voda, roztok hydroxidu sodného 1 mol/dm³ (PENTA s.r.o), roztok kyseliny citronové 1 mol/dm³, bezvodý methanol, titrační činidlo Hydranal, standard vody, chlorid sodný, kyselina mléčná (0,02 mol.l⁻¹), substrát, konjugát, stop solution, promývací roztok (RIDASCREEN®Gliadin competitive, R7021)

3.2 Přístroje

Míchačka hřídelová (BIOSAN Multi Mixer MM-1000), centrifuga (Hittech ROTINA 420 R), pH metr, předvážky (DENVER INSTRUMENT S-4002), mrazárna na -80 °C, stolní lyofilizátor (FreeZone 1L firmy Labconco), Farinograph-E (Brabender, Measurement & Control Systems), automatický Karl-Fisher titrátor Titrino, BioTek synergy HTX multi-mode reader, Shimadzu HPLC, analytické váhy, ultrazvuková lázeň se zahříváním, kuchyňské přístroje a přístroje na analýzu (pekárna, kuchyňských mlýnek, kuchyňský mixér apod.)

3.3 Laboratorní pomůcky

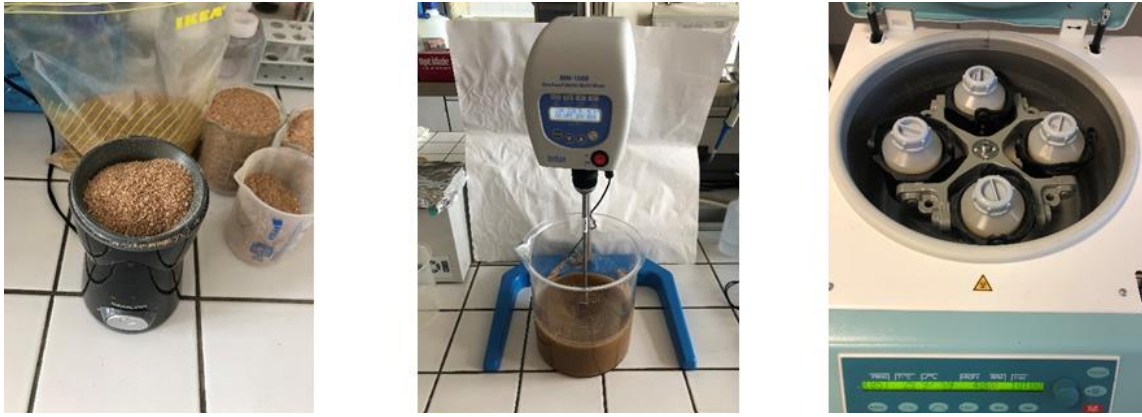
Běžné laboratorní sklo (Simax), plastové zkumavky se závitovým uzávěrem 50 ml, automatické pipety (Thermo Scientific), PTFE centrifugační lahve 500 ml, plastové špičky, injekční stříkačky, stříkačkové filtry (Agilent nylon 0,45 μm), porcelánová miska, síto o straně oka 310–350 μm, skleněná deska

3.4 Pšeničné otruby

Pro účely diplomové práce byly využity pšeničné otruby od firmy Mlýny J. Voženílek, spol s.r.o. z Předměřic nad Labem. Pšeničné otruby jsou sekundární produkty výroby mouky získané z předčištěných zrn pšenice, které se skládají především z části vnějších obalů a části zrn, z nichž byla odstraněna větší část endospermu. Otruby jsou převážně určeny pro výrobu krmných směsí nebo pro přímé zkrmování. Přibližná vlhkost pšeničných otrub je maximálně 15 % a hodnota hrubé vlákniny je 8 %.

3.5 Proces izolace proteinu z pšeničných otrub

Izolace proteinu probíhala podle postupu dle Hubáčové, která ve své diplomové práci s názvem „Výroba a charakterizace proteinových koncentrátů z pšeničných otrub“ tento proces optimalizovala [58]. V první fázi experimentu byly připraveny roztoky 1M NaOH a 1M kyseliny citronové. Dále byly namlety pšeničné otruby kvůli zvýšení výtěžnosti pšeničného proteinu. Mletí pšeničných otrub bylo realizováno pomocí kuchyňského stolního mlýnku, který je zobrazen na obrázku (Obrázek 12A).



Obrázek 12: Mletí pšeničných otrub (A), alkalická extrakce (B), centrifugace

Následně bylo do kádinky o objemu 5 l přidáno 100 gramů namletých otrub a 2 l destilované vody. Tato suspenze byla upravena na pH 10 pomocí 1M roztoku NaOH. Takto připravená suspenze byla míchána po dobu 2 hodin pomocí míchacího zařízení Biosan MM-1000 nastaveného na 150 ot./min (ob) (Obrázek 12B). Během míchání byla udržována stabilní hodnota pH, která byla kontrolována pomocí pH metru. Po ukončení extrakce byla suspenze kvalitativně převedena do 4 centrifugačních lahví o objemu 500 ml (Obrázek 12C). Před samotnou centrifugací byly zkumavky vyváženy s přesností na 0,5 gramů. Centrifugace probíhala 10 minut při nastavení 4800 RPM, akcelerace 9 a při teplotě 25 °C. Při centrifugaci byl úspěšně oddělen pevný a kapalný podíl suspenze, který je zobrazen na obrázku 13A (Obrázek 13). Dále byl supernatant slit do velké lahve o objemu 2 l.



Obrázek 13: Vzorek před centrifugací (A), vzorek po vysrážení (B), vzorek po vysrážení a sedimentaci (C)

Hodnota pH byla upravena na hodnotu okolo 4–5 pH, čímž došlo k precipitaci bílkovin (Obrázek 13). K precipitaci bílkovin dojde, pokud se hodnota pH roztoku blíží izoelektrickému bodu bílkovin. Pro podpoření precipitace bílkovin byl okyselený roztok přes noc umístěn do lednice. Průběh precipitace je zobrazen na obrázku (Obrázek 13B). Po přibližně 24 hodinách byla suspenze kvalitativně převedena do centrifugačních lahví a opět zcentrifugována. Odstředěný protein byl izolován a následně převeden do menší zkumavky o objemu 50 ml. Po převedení byl proteinový izolát zmražen na teplotu -80 °C a následně lyofilizován.

Lyofilizovaný protein byl homogenizován pomocí domácího mlýnku a dál využit při přípravě pekařských těst. Poslední fáze izolace je vyobrazena na obrázku (Obrázek 14).



Obrázek 14: Vzorok před lyofilizací (A), lyofilizace (B), výsledný proteinový izolát (C)

3.6 Pekařský experiment

Základními surovinami pro výrobu baget se zvýšeným obsahem proteinu byla pšeničná mouka, proteinový izolát z pšeničných otrub, syrovátkový protein, sůl, voda a sušené droždí. Jednotlivé množství surovin pro výrobu fortifikovaných baget jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 4).

Všechny tyto suroviny byly nasypány do misky mixéru a následně homogenizovány. Po vytvoření kvalitního těsta bylo těsto přendáno na talířek, kde probíhal proces kynutí. Vykynuté těsto bylo přendáno do pečicí formy na bagety, bylo naříznuto a vloženo do trouby. Takto upečené vzorky byly použity pro sensorickou analýzu.

Tabulka 4: Suroviny pro výrobu fortifikovaných baget

Číslo vzorku	Označení vzorku	Voda [ml]	Mouka [g]	OPI/SP [g]	Droždí [g]	Sůl [g]
1	Reference	64	92,5	0	1,2	2,4
2	Reference + 5 % OPI		87,9	4,6		
3	Reference + 10 % OPI		83,3	9,3		
4	Reference + 15 % OPI		78,6	13,9		
5	Reference + 5 % SP		87,9	4,6		
6	Reference + 10 % SP		83,3	9,3		
7	Reference + 15 % SP		78,6	13,9		

3.7 Metody stanovení

3.7.1 Stanovení obsahu mokrého lepku

Do porcelánové misky bylo naváženo 10 gramů dané směsi. Bylo přidáno 5–5,5 ml roztoku chloridu sodného k proteinovému izolátu. Pomocí špachtle bylo vypracováno středně tuhé těsto, které bylo dobře prohněteno a zformováno do kuličky. Po dobu 30 minut bylo těsto ponecháno pod hodinovým sklem. Takto připravené těsto bylo vypíráno pod tenkým proudem vody nad sítím. Vypírání bylo ukončeno, když vytlačená kapka vody z mokrého lepku byla průzračně čistá. Tímto způsobem bylo měření provedeno u vzorku mouky, mouky se substitucí (5 %, 10 % a 15 %) proteinového izolátu z pšeničných otrub a mouky se substitucí (5 %, 10 % a 15 %) syrovátkového proteinu.

Obsah mokrého lepku v hmotnostních procentech v sušině výrobku bylo vypočteno podle rovnice:

$$X = m \cdot 10 \cdot \frac{100}{100 - w_1} \quad (1)$$

3.7.2 Stanovení bobtnavosti lepku

Do bobtnací baňky bylo odměřeno 80 ml kyseliny mléčné, která byla následně vytemperována na 27 °C. Z čerstvě vypraného lepku byl navážen 1 gram, který byl roztrhán asi na 30 přibližně stejných dílků. Do porcelánové misky bylo přidáno 10 ml vytemperované kyseliny mléčné, ke které byly přidány malé dílky lepku. Obsah porcelánové misky byl převeden do bobtnací baňky k hlavnímu podílu roztoku kyseliny mléčné. Bobtnací baňka byla vložena do vyhřátě (27 °C) vodní lázně, kde byla ponechána po dobu 120 minut. Po 10 a 20 minutách byl obsah baňky mírně promíchán, aby došlo k zamezení slepení dílků lepku nebo jejich ulpívání na dně baňky. Po uplynutí časového intervalu byla bobtnací baňka zazátkována tak, že zátka dosahovala k nulové značce stupnice. Vlivem pozvolným překlopením baňky byly nabobtnané částice lepku sesunuty do kalibrovaného hrdla. Po dopadnutí posledního dílku lepku byl ihned odečten objem na nejbližších 0,5 dílků. Tímto způsobem bylo měření provedeno u lepku z mouky, z mouky se substitucí (5 %, 10 % a 15 %) proteinového izolátu z pšeničných otrub a lepku z mouky se substitucí (5 %, 10 % a 15 %) syrovátkového proteinu.

3.7.3 Stanovení vody titračně podle Karl-Fishera

Byl stanoven obsah vody ve vzorku mouky, mouky se substitucí OPI (5 %, 10 %, 15 %) a mouky se substitucí (5 %, 10 % a 15 %) SP proteinu. Jako blank byl využit bezvodý methanol. Nejdříve byly dvě odměrné baňky zváženy, včetně zátky, na analytických vahách. Do takto připravené odměrné baňky s nápisem blank byl dolit bezvodý methanol o objemu 20 ml. Takto naplněná odměrná baňka opět byla zvážena. Do druhé odměrné baňky byl navážen proteinový izolát z pšeničných otrub (0,5 gramů) a opět zvážen. Po zvážení bylo do izolátu z pšeničných otrub dolito 20 ml bezvodého methanolu a opět zváženo. Takto připravený vzorek byl vložen do ultrazvukové lázně vyhřívané na 50 °C po dobu 15 minut. Po vychladnutí vzorku bylo odebráno přibližně 5 ml vzorku a přefiltrováno jej přes

stříkačkový filtr do vysušené vialky. Následně byla zvážena injekční stříkačka s jehlou, váhy byly vytárovány a pomocí zvážené injekční stříkačky bylo nabráno přibližně 0,5 ml standardu vody z vialky. Injekční stříkačka byla opět zvážena a hmotnost zaznamenána. Na přístroji byl zmáčknut start a do titrační cely byl opatrně nadávkovaný standart vody, tak aby v injekční stříkačce zbylo cca 0,1 ml standardu. Injekční stříkačka byla vyjmutá a opět zvážena. Rozdíl od předešlého vážení byl vložen do přístroje. Následovala samotná titrace vzorku, kdy po ukončení titrace došlo k zobrazení množství vody ve vzorku na klávesnici.

Obsah vody ve vzorku proteinového izolátu z pšeničných otrub byl vypočítán podle vzorce:

$$w_{H_2O} = \frac{(w_{H_2O\ ex} - w_{H_2O\ blank}) \cdot (m_{izolát + methanol} - m_1)}{m_{izolát} - m_1} \quad (2)$$

3.7.4 Enzymová imunoanalýza pro stanovení lepku

Pro stanovení koncentrace lepku v nízkolepkových potravinách (syrovátkový protein) byla použita enzymová imunoanalýza Ridascreen competitive gliadin. Do plastových zkumavek byl navážen 1 gram syrovátkového proteinu. Do zkumavky bylo přidáno 10 ml 60% roztoku ethanolu. Takto připravená směs byla protřepávána po dobu 10 min. Po protřepání byl ze vzorku odebrán 1 ml, který byl následně zcentrifugován. Ze vzniklého supernatantu bylo odebráno 20 µl, který byl následně zředěn kitovým pufrům v poměru 1:50. Z takto připraveného vzorku bylo napipetováno 50 µl do mikrotitrační destičky s jamkami, ve kterých byl ukotvený gliadin. K roztoku vzorku bylo přidáno stejné množství zředěného konjugátu. Destička se vzorky byla promíchána a inkubována po dobu 30 minut při pokojové teplotě. Po uplynutí časového intervalu byly vzorky vylity a jamky byly následně třikrát promyty (250 µl) promývacím pufrům. Do promytých jamek bylo napipetováno 100 µl substrátu. Destička byla inkubována po dobu 10 minut ve tmě při pokojové teplotě. Po inkubaci bylo přidáno 100 µl ukončovacího roztoku a byla změřena absorbance při 450 nm.

3.7.5 Stanovení uhlíku, vodíku a dusíku ve směsích

Elementární analýza směsí byla provedena na zařízení Eurovector EA3100 (Eurovector). Vyhodnocení výsledků bylo realizováno pomocí softwaru Weaver (Eurovector).

3.7.6 Farinografické stanovení

Farinografické stanovení bylo realizováno ve firmě Mlýny J. Voženílek, spol s.r.o z Předměřic nad Labem na přístroji značky Brabender (Brabender, Measurement & Control Systems Farinograph-E, Německo). Součástí farinografu je termostat, který zajišťuje konstantní teplotu a v průběhu experimentu byl vyhříván na teplotu 29,9 °C. Hlavní část farinografu tvoří hnětačka o kapacitě 300 g, ve které jsou lopatky, které se otáčejí rychlostí 63 otáček za minutu. Farinografický přístroj je vyobrazen na obrázku (Obrázek 15).



Obrázek 15: Farinografický přístroj

V první fázi experimentu bylo nutné zadat do programu kompletní parametry zkoušky. Po zadání parametrů dochází k automatickému nastavení nulového bodu, při kterém dochází i k zahřátí přístroje. Do takto připraveného hnětače bylo nasypáno 302,4 gramů mouky (hmotnost odpovídající příslušné vlhkosti mouky) a byretou byl připuštěn vhodný obsah vody (Tabulka 5), dle směsi ve hnětači. Po přidání vody došlo ke tvorbě těsta a ke zvyšování kroutícího momentu. Jakmile hodnota kroutícího momentu poprvé dosáhla hodnoty 40 FE, započne automatické zobrazování farinografu na obrazovce počítače. Množství přidané vody závisí na vaznosti mouky (směsi). Přidává se tolik vody, aby bylo dosaženo maximální konzistence 500 FJ. Je-li konzistence příliš vysoká, přidá se vody více. Kvůli přidání různých proteinů k mouce byla ovlivněna vaznost mouky a byla nutná optimalizace procesu přidavku vody. Optimalizované množství vody pro jednotlivé směsi je uvedeno v tabulce (Tabulka 5), kde množství vody je vyjádřeno jako vaznost mouky, tzv. přídavek 135 ml vody je roven 45 % vaznosti mouky. Farinografické stanovení probíhalo 20 minut a bylo provedeno u T530, T530 + SP 5 % a T530 + OPI 5 %.

Tabulka 5: Optimalizované množství vody pro jednotlivé směsi

Typ směsi	Množství přidané vody [ml]
T530	55,8
T530 + OPI 5 %	52,6
T530 + SP 5 %	56,4

3.7.7 Extenzografické stanovení

Extenzografické stanovení bylo realizováno ve firmě Mlýny J. Voženílek, spol s.r.o z Předměřic nad Labem na přístroji od značky Brabender. Aby bylo možné měřit pomocí extenzografů, je nutné použít i farinograf k přípravě samotného těsta. Extenzograf obsahuje termostat, který zajišťuje konstantní teplotu vodní lázně a byl vyhříván na teplotu 30 °C. Nastavení přístroje je vypsáno v tabulce (Tabulka 6). Extenzografické měření bylo realizováno v mouce, v mouce se substitucí 5 %, 10 % a 15 % OPI a v mouce se substitucí 5 % SP.

Tabulka 6: Nastavení extenzografického přístroje

Počet otáček skulovače [min^{-1}]	83 ± 3
Počet otáček vyvalovače [min^{-1}]	15 ± 1
Rychlost otáček cm min^{-1} [cm.s^{-1}]	$1,5 \pm 0,05$
Rychlost posuvu registračního papíru [cm.s^{-1}]	$0,7 \pm 0,01$
Síla, vynaložená na extenzografickou jednotku [mN.EJ^{-1}]	$12,3 \pm 0,3$

K vytvoření těsta došlo stejně tak jako v případě farinografického stanovení pomocí hnětače, který je součástí farinografického přístroje. Dále bylo naváženo 6 gramů chloridu sodného (0,1M), který byl rozmíchán v odpovídajícím množství vody. Množství vody závisí na druhu mouky, popřípadě směsi. Vždy je nutné, aby mouka (směs) dosáhla konzistence 500 FJ po 5 minutách míchání. Optimalizované množství vody pro jednotlivé směsi je uvedeno v tabulce (Tabulka 7), kde je množství vody vyjádřeno jako vaznost mouky.

Tabulka 7: Optimalizované množství vody pro extenzografické stanovení

	Množství přidané vody [ml]
Mouka T530	54,6
T530 + OPI 5 %	52,6
T530 + OPI 10 %	54,9
T530 + OPI 15 %	57,7
T530 + SP 5 %	47,9

Těsto, které bylo připraveno ve farinografické hnětačce bylo nejdříve vytvarováno ve skulovači do tvaru klonku (Obrázek 16A), následně bylo vloženo do vyvalovače, který přetvaruje klonek do tvaru válečku (Obrázek 16B). Takto vytvarované válečky byly umístěny do komory (Obrázek 16C), která je vytemperovaná na 30,4 °C a nechaly se odležet 30 minut.



Obrázek 16: Klonek vytvořený ve skulovači (A), váleček vytvarovaný ve vyvalovači (B), temperovaná komora k odležení vzorku (C)

Po stanovené době odležení bylo těsto natahováno hákem přístroje (Obrázek 17A) až do přetržení (Obrázek 17B). Poté bylo těsto opět spojeno, vytvarováno ve vyvalovači a necháno znovu odležet 30 minut. Po uplynutí 30 minut byl experiment zopakován. Odpor, který těsto háku klade při natahování, bylo zaznamenáváno registračním zařízením.



Obrázek 17: Natahování těsta hákem (A), moment přetržení těsta hákem (B)

3.8 Senzorická analýza

Senzorická analýza fortifikovaného pečiva byla provedena ve specializované, senzorické laboratoři fakulty chemické na VUT v Brně. Senzorické analýzy se uskutečnilo 20 hodnotitelů. Na hodnocení a posouzení vyrobeného fortifikovaného pečiva byl nachystaný dotazník (viz. příloha) předem domluvený s vedoucím diplomové práce.

Za cílem celkového hodnocení fortifikovaného pečiva byla provedena senzorická analýza metodou škálování. Celkově 7 vzorků fortifikovaného pečiva bylo nakrájeno a nachystáno pro hodnotitelé (Obrázek 18). Jako normalizátor chuti byla použita voda. Na základě dotazníku byla obdržena data, která byla dále statisticky zpracována a popsána v diskusi v kapitole 4.3.



Obrázek 18: Ukázka vzorků pro senzorickou analýzu

3.9 Statistické vyhodnocení dat

Na základě senzorické analýzy byl sestaven dataset, který byl statisticky zpracován. Dataset byl zpracováván pomocí programu Statistica. Pro posouzení statisticky významných rozdílů mezi fortifikovaným pečivem byla využita Kruskal-WalisoVA ANOVA. Pracovalo se se dvěma hypotézami: H_0 – mezi fortifikovaným pečivem není statisticky významný rozdíl, H_1 – mezi fortifikovaným pečivem je statisticky významný rozdíl. Testování hypotéz bylo realizováno na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Výstupem Kruskal-WalisoVovy ANOVA byly P hodnoty pro jednotlivé proměnné. Pokud platilo, že $P > \alpha$, tak platila nulová hypotéza. V opačném případě ($P < \alpha$) byla nulová hypotéza zamítnuta.

4 VÝSLEDKY A DISKUSE

4.1 Fyzikální a chemické vlastnosti těst a pekařských směsí

4.1.1 Nutriční charakteristika proteinových izolátů

V rámci této diplomové práce byla provedena analýza aminokyselin získaného proteinového izolátu. Aminokyselinový profil OPI byl analyzován v chemické laboratoři (Laboratoř Písek). Aminokyselinový profil SP byl získán z obalu výrobku. Výsledky aminokyselinového profilu OPI a SP jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 8).

Tabulka 8: Obsah proteinů a aminokyselinový profil proteinových izolátů

Otrubový proteinový izolát (OPI)		Syrávkový protein (SP)	
Celkové bílkoviny [g/100 gramů izolátu]	67,6	Celkové bílkovin [g/100 gramů izolátu]	76,9
Methionin (Met)	1,2	Methionin (Met)	1,6
Lysin (lys)	2,7	Lysin (lys)	6,8
Threonin (Thr)	2,2	Threonin (Thr)	5,4
Kyselina asparagová (Asp)	6,2	Kyselina asparagová (Asp)	8,5
Serin (Ser)	3,2	Serin (Ser)	4,9
Kyselina glutamová (Glu)	13,6	Kyselina glutamová (Glu)	13,7
Glycin (Gly)	3,5	Glycin (Gly)	1,5
Alanin (Ala)	3,1	Alanin (Ala)	3,8
Tyrosin (Tyr)	2,5	Tyrosin (Tyr)	2,2
Valin (Val)	3,1	Valin (Val)	4,6
Fenylalanin (Phe)	2,8	Fenylalanin (Phe)	2,5
Isoleucin (Ile)	1,9	Isoleucin (Ile)	4,8
Leucin (Leu)	4,6	Leucin (Leu)	8,1
Histidin (His)	2,2	Histidin (His)	1,3
Arginin (Arg)	5,2	Arginin (Arg)	1,9
Cystein (Cys)	1,1	Cystein (Cys)	1,6
Prolin (Pro)	6,4	Prolin (Pro)	4,9
Tryptofan (Trp)	0,6	Tryptofan (Trp)	1,3

Ve výše uvedené tabulce (Tabulka 8) můžeme vidět obsah jednotlivých aminokyselin ve dvou různých proteinových izolátech a jejich celkovou sumu. Výsledná nutriční hodnota bílkoviny je dána několika faktory, především složením aminokyselin. Obsah bílkovin jednotlivých proteinových izolátů se lišil. V syrovátkovém proteinu bylo zjištěno přibližně o 10 gramů bílkovin více (na 100 gramů proteinového izolátu) než u OPI. Kvůli vyšší hodnotě bílkovin u SP lze očekávat i vyšší zastoupení AMK. Ovšem i přes nižší obsah bílkovin bylo množství některých AMK dominantnější u OPI. Aminokyseliny glycin, tyrosin, fenylalanin, arginin, prolin a histidin měly vyšší zastoupení u OPI.

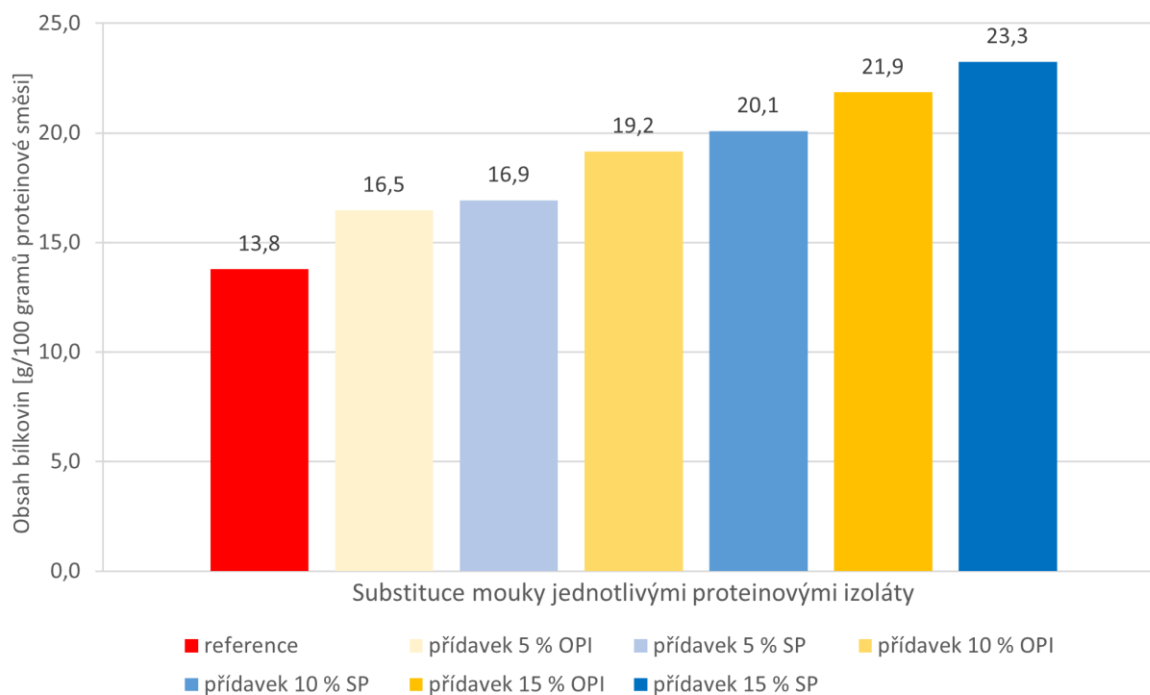
Vlivem substituce mouky syrovátkovým proteinem dochází k obohacování pekařských směsí o významné aminokyseliny. Sirovátkový protein je bohatý především na leucin, lysin, izoleucin a valin. Tyto rozvětvené aminokyseliny tvoří přibližně 70 % aminokyselin, které jsou přítomné ve svalech a jsou zodpovědné za růst a obnovu svalů. Bylo zjištěno, že rozvětvené aminokyseliny zvyšují rychlost syntézy proteinů a snižují rychlost degradace proteinů v klidovém stavu. Často se tyto aminokyseliny používají jako doplněk stravy pro sportovce, kdy jsou součástí směsi, která bývá označována jako BCAA. Tyto výrobky by tak mohly zaujmout silnou pozici mezi dalšími doplňky stravy pro sportovce [59][60]. Kromě těchto aminokyselin syrovátkové proteiny obsahují nezanedbatelné množství threoninu a lysinu. Co se týče neesenciálních AK, nejvíce zastoupenými jsou glutamin a kyselina asparagová.

Proteinový izolát z otrub také obsahuje celou řadu nutričně významných aminokyselin. Podobně jako syrovátkový protein se skládá z nezanedbatelného množství rozvětvených esenciálních aminokyselin. Přídavkem izolátu do mouky tak dochází k navýšení nutriční hodnoty finálního pekařského výrobku. Nejvíce zastoupenou neesenciální kyselinou u izolátu z pšeničných otrub je kyselina asparagová, glutamin a arginin. Arginin je důležitý pro regulaci syntézy jaterní močoviny a také stimuluje sekreci růstového hormonu a insulinu. Arginin v kombinaci s lysinem podporuje tvorbu růstového hormonu, což je využíváno především k regeneraci po fyzických výkonech [61].

V průběhu skladování pšeničné mouky dochází k degradaci lysinu. Produkty vyráběné z déle skladovaných surovin tak mohou obsahovat nižší koncentraci lysinu. Tento deficit lze efektivně řešit substitucí části mouky proteinovým izolátem. Nedostatečný příjem lysinu v potravě může vést k zastavení růstu [61]. Díky tomu, že OPI i SP lze považovat za izoláty bohaté na aminokyselinu lysin, tak při fortifikaci pekařských výrobků dochází k doplnění této limitující kyseliny. Z aminokyselinového profilu OPI a SP je zřejmé, že jsou dobrým zdrojem aminokyselin, které jsou vyhledávány především sportovci.

4.1.2 Stanovení obsahu bílkovin v mouce a pekařských směsích

Základním cílem této diplomové práce bylo zvýšit obsah bílkovin v pekařských výrobcích. Obsah proteinů byl zvyšován substitucí části mouky za proteinový izolát. Podle metodiky popsané v kapitole 3.7.5 byl stanoven obsah dusíku ve vzorcích. Tento obsah byl vynásoben přepočítacím faktorem, který závisí na druhu bílkoviny. U pšeničné mouky a SP byl použit přepočítávací faktor 6,25 a u OPI přepočítávací faktor 6,31 [62]. Přepočítané množství bílkovin v jednotlivých směsích jsou zobrazeny na obrázku (Obrázek 19).



Obrázek 19: Grafické znázornění obsahu bílkovin v jednotlivých směsích (uvedeno na 100 gramu směsi)

Z obrázku (Obrázek 19) je patrné, že substituce mouky proteinovým izolátem ovlivňuje množství bílkovin v pekařských směsích. Nejvyšší hodnota bílkovin byla identifikována při substituci mouky 15 % SP a OPI. Oproti referenčnímu vzorku dochází ke zvýšení bílkovin přibližně o 10 gramů na 100 gramů pekařské směsi. Pokud bychom naše analyzované směsi porovnali s komerčními pekařskými výrobky, zjistíme, že řada proteinových pekařských směsí se pohybuje v rozmezí 20–40 gramů bílkovin na 100 gramů pekařské směsi. Například značka TOPNATURAL vyrábí proteinovou směs, která obsahuje 24 gramů bílkovin na 100 gramů. Další výrobce, který se věnuje produkci podobných druhů vysoko proteinových pekařských směsí je společnost INSULEAN. Jejich proteinová směs obsahuje až 39 gramů bílkovin na 100 gramů suché směsi [63][64].

4.1.3 Stanovení vody titračně podle Karl-Fishera

Stanovení obsahu vody bylo provedeno u všech již zmíněných směsí podle postupu uvedené v kapitole 3.7.3. Dle výsledků uvedených v tabulce (Tabulka 9) je zřejmé, že obsah vody byl nejvyšší u mouky T530. Pšeničná mouka s označením T530 by podle normy ČSN 560512 měla mít maximální obsah vody 15 %, což námi stanovený obsah vody v mouce splňuje. Nejnižší hodnotu vody vykazuje OPI, což je způsobeno tím, že tento vzorek prošel procesem zmrazení a následnou lyofilizací, která snižuje obsah vody. Bylo nutné provést přepočet obsahu vody na námi používané směsi. Tyto hodnoty jsou rovněž uvedeny v tabulce (Tabulka 9).

Tabulka 9: Obsah vody ve směsích stanovený podle Karl-Fishera

	Obsah vody [%]	Průměr obsahu vody [%]		Obsah vody [%]
T530 – 1	10,8	10,2 ± 0,58	Reference + 5 % OPI	9,8
T530 – 2	9,6		Reference + 10 % OPI	9,4
OPI – 1	5,2	6,7 ± 0,02	Reference + 15 % OPI	9,1
OPI – 2	8,2		Reference + 5 % SP	10,0
SP – 1	2,5	2,5 ± 1,50	Reference + 10 % SP	9,8
SP – 2	2,5		Reference + 15 % SP	9,7

4.1.4 Stanovení obsahu mokrého lepku

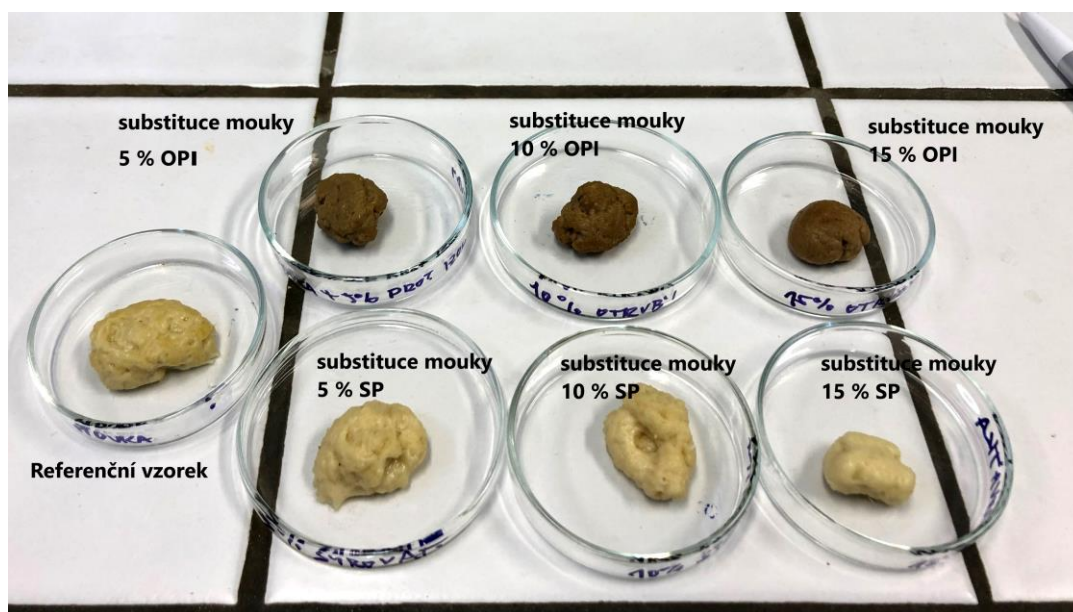
Stanovení obsahu mokrého lepku bylo provedeno u všech u vzorku mouky a všech jejích směsí podle postupu uvedené v kapitole 3.7.1. Hmotnost mokrého lepku v jednotlivých směsích je uvedeno v tabulce (Tabulka 10). K výpočtu obsahu mokrého lepku bylo nutné znát obsah vody ve směsi. Tento obsah byl získán pomocí Karl-Fisher titrace podle postupu uvedeného v kapitole 3.7.3. Díky Karl-Fisher titraci byl zjištěn obsah vody v mouce, OPI a SP. Pomocí směšovací rovnice byl získán obsah vody v jednotlivých směsích.

Tabulka 10: Jednotlivé obsahy mokrého lepku ve směsích

Směs	Hmotnost mokrého lepku [g]	Obsah mokrého lepku [%]
Reference – T530	3,5	38,6
T530 + 5 % OPI	3,1	33,5
T530 + 10 % OPI	2,8	31,2
T530 + 15 % OPI	2,6	28,3
T530 + 5 % SP	2,9	33,1
T530 + 10 % SP	2,8	30,5
T530 + 15 % SP	1,8	19,6

Pšeničný protein má jedinečnou vlastnost, která vytváří roztažnost a elasticitu těsta a je zásadní pro texturu hotového výrobku. Tato rovnováha mezi roztažností a elasticitou umožňuje těsto natahovat a dále zpracovávat. Přidáním vody do lepkové mouky (mouka, co obsahuje glutenin a gliadin) se molekuly gluteninu spojí (pomocí disulfidické vazby). Dojde k vytvoření dlouhých a kudrnatých řetězců, které se navzájem spojí. Míchání, hnětení a dlouhé doby odpočinku poskytují těstu vše, co potřebuje, aby získalo výslednou elasticitu. Na rozdíl od gluteninu, gliadin v lepku funguje jako kuličková ložiska, která nechávají gluteninové řetězce volně klouzat kolem nich, aniž by se spojovaly [65].

Jako kontrolní vzorek byla použita mouka T530, kde byl obsah mokrého lepku stanoven na 38,6 %. Podle dostupné literatury by se měl obsah mokrého lepku v pšeničné mouce pohybovat okolo 30 %, ale záleží na druhu mouky [66]. Čím více mouka obsahuje mokrého lepku, tím je silnější. Z tohoto hlediska lze mouku T530 poskytnutou mlýny z Předměřic nad Labem považovat za kvalitní. Mouka T530 byla substituována proteinovým izolátem z pšeničných otrub. S rostoucí koncentrací OPI docházelo ke postupnému snížení obsahu mokrého lepku. Při substituci 15 % OPI došlo ke snížení množství mokrého lepku skoro o 10 %. Ke stejnému závěru došli i ve studii Alzuwaid, T a kol (2020), kdy zjistili, že substituce mouky 20 % OPI v těstovinách snížila obsah mokrého lepku z 30,3 % na 19,7 %. Toto snížení je zapříčiněno tím, že OPI obsahuje především rozpustné proteiny – albuminy a globuliny. Tzv. že dochází k oslabení lepkové sítě s vyšším obsahem OPI [38]. Substituce mouky OPI nejenom že ovlivnila výsledný obsah mokrého lepku, ale i výslednou barvu (Obrázek 20).



Obrázek 20: Ukázka mokrého lepku z jednotlivých směsí

Proteiny z jiných zdrojů ovlivňují dobře organizovanou, síťovou strukturu lepku a mají potenciálně rušivý vliv na viskoelasticitu těsta. Většina nepšeničných bílkovin má významnou schopnost vázat vodu. Přídavek nepšeničného proteinu (například syrovátkového proteinu) inhibuje vývoj struktury lepkové sítě opět v důsledku zředění

koncentrace lepku a konkurence vaznosti vody buď s lepkem, škrobem anebo syrovátkovým proteinem [2]. Cílem studie, kterou provedl Tay, R a kol (2021) bylo začlenit různé koncentrace SP (syrovátkového proteinového izolátu) do krekrů na bázi pšenice a určit jejich účinky na fyzikálně-chemické vlastnosti krekrů. Ukázalo se, že přidání SP ovlivnilo celkové fyzikálně-chemické a sensorické vlastnosti krekrů. Bylo zjištěno, že SP narušuje a oslabuje lepkovou síť těsta, což je v souladu s výsledky této diplomové práce. Při přidavku 15 % SP došlo k poklesu obsahu mokrého lepku z 34,8 % (kontrolní vzorek) na 17,74 % [67].

Dále byla provedena doplňková analýza celkového lepku u syrovátkového proteinu podle metodiky popsané v kapitole 3.7.4. Pomocí kitu, který se používá pro stanovení obsahu lepku v nízko lepkových potravinách bylo změřeno, že syrovátkový protein obsahuje 45,2 mg/kg lepku. Potraviny, které jsou označovány jako bezlepkové obsahují maximálně 20 mg/kg. Z toho lze usoudit, že syrovátkový protein nelze považovat za bezlepkový. Avšak díky zvýšené hranici (100 mg/kg) u potravin označované jako „potraviny s nízkým obsahem lepku“ lze syrovátkový protein označit jako potravinu s nízkým obsahem lepku [68].

4.1.5 Stanovení bobtnavosti lepku

Stanovení bobtnavosti lepku bylo provedeno u všech již zmíněných směsí podle postupu uvedené v kapitole 3.7.2. Z vypíraného těsta, které vzniklo spojením mouky a vody, byly vymývány všechny rozpustné látky ve vodě. Z výsledků je patrné, že nejvyšší bobtnavost lepku měla směs s přidavkem 15 % proteinového izolátu z pšeničných otrub. To může být způsobeno vysokým obsahem škrobu a vlákniny, která je nerozpustná ve vodě a má vysokou absorpci vody. Na rozdíl od toho, protein ze syrovátky je ve vodě rozpustný a neobsahuje vlákninu, ani škrob, tzv. že se zvyšujícím přidavkem klesá bobtnavost. Z naměřených výsledků uvedených v tabulce (Tabulka 11) vyplývá, že nejvyšší bobtnavost byla naměřena u vzorku po přidavku 15 % proteinového izolátu z pšeničných otrub a nejmenší u přidavku 15 % syrovátkového proteinu v porovnání s pšeničnou moukou.

Tabulka 11: Výsledky sedimentačního testu

	Objem sedimentace [ml]	
Reference (T530)	21	
T530 + 5 % OPI/SP	25	23
T530 + 10 % OPI/SP	28	20
T530 + 15 % OPI/SP	42	17

Výsledky sedimentačního testu byly ovlivněny přidavkem proteinového izolátu. Vlivem přidání otrubového proteinového izolátu došlo k rozdrobení mokrého lepku a zakalení roztoku. Naopak substituce mouky SP neovlivnila soudržnost lepku, ale došlo ke zhoršení sedimentace. Nejlepší bobtnavost vykazoval mokrý lepek získaný ze samotné pšeničné mouky (T530).

4.2 Reologické vlastnosti těsta

Studium reologických vlastností těsta bylo provedeno pomocí farinografu a extenziografu. Výsledky těchto měření jsou uvedeny v podkapitole 4.2.1.1 a 4.2.1.2. Informace o reologických vlastnostech těsta mohou být užitečné pro výběr jejich aplikace a také kvality výsledného produktu.

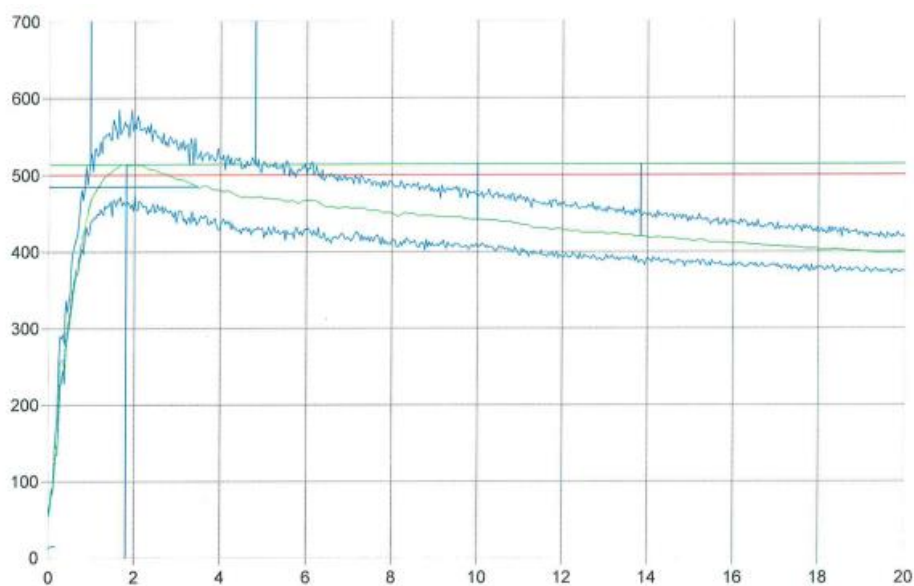
4.2.1 Farinografické stanovení

Farinograf je jedním z přístrojů, který slouží k objektivnímu zhodnocení reologických vlastností mouky a těsta pro pekařské uplatnění. Cílem farinografického měření bylo stanovit vliv substituce části mouky proteinovým izolátem z pšeničných otrub a syrovátkovým proteinem na reologické vlastnosti těsta (podle postupu popsáném v kapitole 3.7.6). V následující tabulce (Tabulka 12) jsou pro všechny vzorky zobrazeny hodnoty jednotlivých farinografických ukazatelů, jako je vaznost vody, doba vývinu, stabilita, stupeň změknutí a farinografické číslo. Pro srovnání jsou zde uvedeny také hodnoty pro pizza mouku. Při měření byly odčítány dva stupně změknutí. Stupeň změknutí (10 min) je měřen po 10 minutách od začátku měření, naopak změknutí (12 min) je měřeno po 12 minutách od dosažení maxima.

Tabulka 12: Farinografické ukazatelé pro jednotlivé směsi

Farinografický ukazatel	T530	T530 + 5 % OPI	T530 + 5 % SP	Pizza směs
Vaznost [%]	55,8	56,4	52,6	57,4
Doba vývinu [min]	1,8	1,7	6,8	2,7
Stabilita [min]	3,8	2,6	9,8	16,4
Stupeň změknutí (10) [FU]	72	73	20	30
Stupeň změknutí (12) [FU]	94	75	74	38
Farinografické číslo kvality	35	30	113	80

Jako referenční vzorek byla použita mouka T530 bez přídavku jakéhokoliv proteinu. Důležitá fyzikální vlastnost pšeničné mouky je vaznost vody. Silné mouky mají vaznost v rozmezí 55–60 %, tzn. že 100 gramů pšeničné mouky je schopno vázat 55 až 60 kg vody [69], do rozmezí pro silné mouky spadá i naše analyzovaná mouka T530. Silné mouky jsou specifické vysokým obsahem lepku (který zajišťuje vyšší vaznost vody) a jsou vhodné pro pečení chleba. Doba vývoje těsta a doba stability jsou indikátory pevnosti mouky, přičemž vyšší hodnoty naznačují pevnější těsto, ve kterém pšeničný lepek hraje kritickou roli při tvorbě trojrozměrné viskoelastické struktury. Parametr stabilita těsta je udávána v minutách a u pšeničných mouk v České republice se pohybuje okolo 4–5 minut. Dle měření referenční mouka T530 dosahuje hodnoty stability 3,8 min. Farinografická křivka je vyjádřením závislosti konzistence [FU] na čase [min]. Farinografická křivka referenčního vzorku je vyobrazena na obrázku (Obrázek 21).



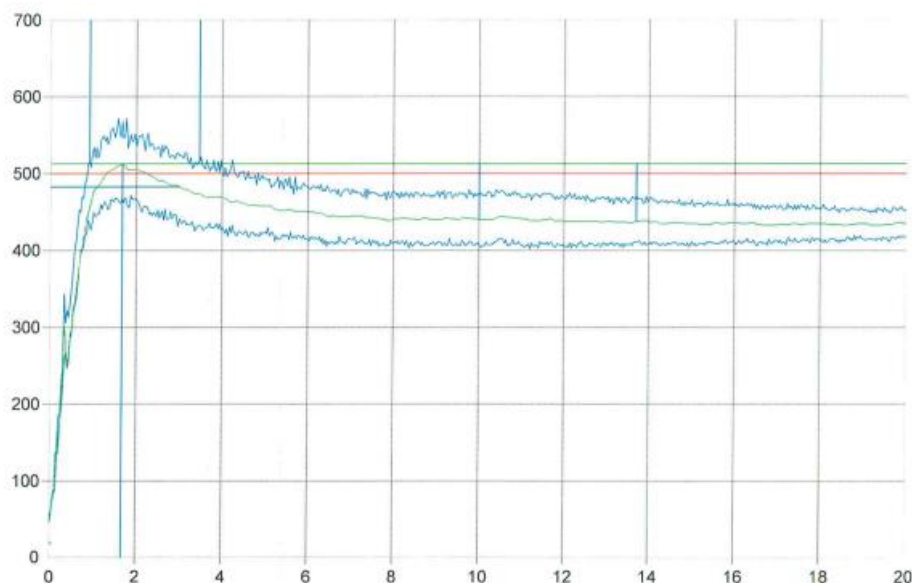
Obrázek 21: Farinografická křivka referenčního vzorku (T530)

Údaje z farinografu (Tabulka 10 a Obrázek 22- závislost konzistence těsta [FU] na čase [min]) ukazují, že nahrazením pšeničné mouky OPI dochází k mírnému zvýšení **vaznosti vody** oproti referenčnímu vzorku. Zvýšená vaznost vody je pravděpodobně způsobena přítomností vlákniny v OPI. Vlákna obsahuje velké množství hydroxylových skupin, které interagují s vodíkovými vazbami vody a tím zvyšují absorpci vody. Tuto skutečnost potvrzuje i studie zaměřená na vliv extrudovaných pšeničných otrub na reologii těsta a kvalitu chleba, kterou vedl Manuel Gómez a kol (2011) [70].

Substitucí mouky pomocí OPI nedošlo k zásadní změně doby **vývinu těsta** (pokles o 0,1 min oproti referenčnímu vzorku) signifikantní. Během vývinu těsta může docházet k interakci vláknina lepek, což může samotný čas tohoto procesu prodloužit. Přídavkem OPI, který vlákninu obsahuje však k tomu jevu nedošlo [70].

Naproti tomu **stabilita těsta** zaznamenala určitý pokles. Vlivem přidání 5 % OPI došlo k oslabení lepkové sítě a ke snížení síly mouky. Vlivem snížení síly mouky došlo k poklesu stability těsta o 1,2 min oproti referenčnímu vzorku. Tento pokles se dá považovat za signifikantní rozdíl mezi referenčním vzorkem a vzorkem s přídavkem 5 % OPI.

Dále byl studován **stupeň změknutí** těsta. Substitucí mouky OPI došlo ke zpomalení měknutí těsta. Se stupněm změknutí nepřímo souvisí farinografické číslo kvality (FQN). FQN udává délku na časové ose od počátku měření do poklesu křivky o 30 FU od dosažení maxima. Vlivem rychlého měknutí dochází k rychlému poklesu křivky a tím i k poklesu o 30 FU. Z hlediska FQN lze těsto připravené z pšeničné mouky a 5% přídavky OPI charakterizovat jako nejméně vhodné. Na obrázku (Obrázek 22) je vyobrazena farinografická křivka mouky se substitucí 5 % OPI.



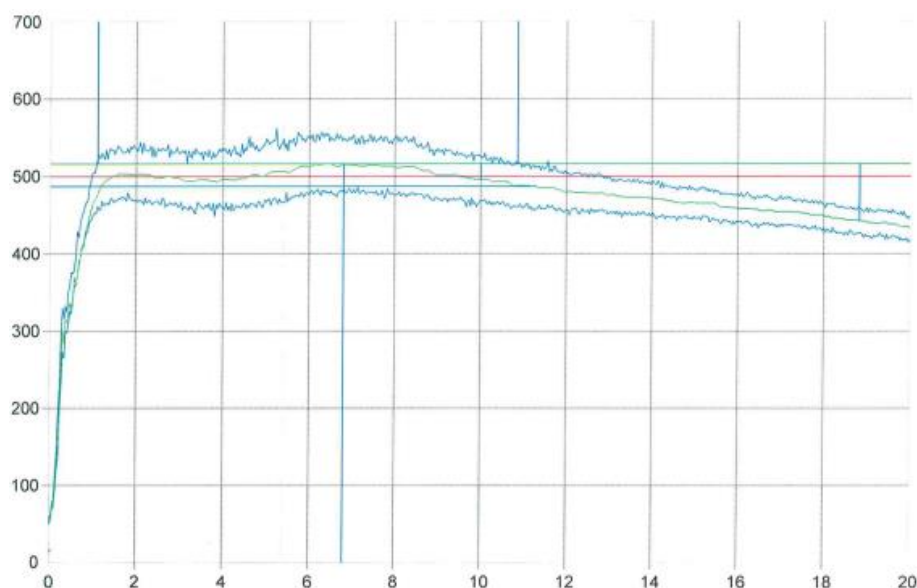
Obrázek 22: Farinografická křivka těsta obohaceného o 5 % OPI

Dále byl studován vliv substituce mouky syrovátkovým proteinem. Údaje z farinografu ukazují (Tabulka 10 a Obrázek 23), že dochází ke snížení **absorpce vody** oproti referenčnímu vzorku. Substituce mouky SP vedla ke vzniku složitějšího systému a zpomalilo hydrataci, natažení a zarovnání pšeničného lepku, což mělo za následek zvýšení doby vývinu těsta. **Doba vývinu** těsta s přidavkem 5 % SP se zvýšila o 5 minut a **stabilita těsta** se substitucí 5 % SP se zvýšila o 6 minut oproti referenčnímu vzorku.

K tomuto závěru došli i ve studii Indrani, D a kol (2007) kdy bylo prokázáno, že substituce do 10 % syrovátkového proteinu zvyšuje stabilitu těsta oproti referenčnímu vzorku. Naopak k rozdílnému závěru došli ve studii Tang, X a kol (2017), kde zjistili, že přidavek SP způsobuje pokles stability těsta. Pokles by měl být způsoben interakcemi mezi sulfhydrylovou skupinou SP a disulfidickou vazbou v pšeničném lepku. Na základě této studie byl proveden farinografický experiment, kdy bylo do těsta přidáno 10 % SP. Bylo zjištěno, že doba stability klesá s vyšším přidavkem SP, kdy při přidavku 10 % SP byla hodnota doby stability 6,5 min. Díky rozdílným výsledkům je vzorek s přidavkem syrovátkového proteinu dobrým prekurzorem pro další výzkumné studie [71][72].

Ke snížení **stupně změknutí** došlo díky delší době vývinu těsta, protože stupeň změknutí se odečítá jako rozdíl mezi hodnotou konzistence v maximu a hodnotou konzistence v čase 10 min. To znamená, že pokud se doba vývinu těsta blíží k 10 minutám, tím kratší dobu dochází k poklesu křivky. Dá se předpokládat, že doba změknutí po 12 minutách s vyšším přidavkem syrovátkového proteinu bude stoupat. Dle **farinografického čísla (FQN)** došlo ke zlepšení kvality těsta při přidavku 5 % syrovátkového proteinu, kdy se hodnota FQN zvýšila přibližně 3krát oproti referenčnímu vzorku. Díky vysoké hodnotě stability těsta a FQN bylo provedeno porovnání mezi směsí obohacenou 5 % SP a pizza moukou. Na základě farinografického měření, bylo zjištěno, že FQN je vyšší u směsi obohacené o 5 % SP, než u mouky s vyšším obsahem lepku (pizza mouka).

Farinografická křivka substituovaného těsta 5 % SP je vyobrazena na obrázku (Obrázek 23). Farinografická křivka vyjadřuje závislost konzistence těsta [FU] na čase [min].



Obrázek 23: Farinografická křivka těsta obohaceného o 5 % SP

4.2.2 Extenzografické stanovení

Cílem extenzografického měření bylo stanovit vliv přídatku OPI a SP v pšeničné mouce na reologické vlastnosti těsta podle postupu popsaném v kapitole 3.7.7. V následující tabulce (Tabulka 13) jsou vypsány hodnoty jednotlivých extenzografických ukazatelů, jako je energie, odpor, tažnost a poměrové číslo. Během měření byly odečítány dvě poměrová čísla. Poměrové číslo udává poměr mezi odporem a energií a poměrové číslo (max) je definováno jako poměr mezi maximem a energií.

Při extenzografickém měření vyšších koncentrací syrovátkového proteinu v těstu (10 % a 15 %) způsobovala problémy lepivost, při které se špatně tvořil klonek i váleček. Těsto se lepilo na skulovač i rozvalovač, a proto nebylo možné extenzografické stanovení dokončit. Lepivost těsta by mohla být eliminována nižším přídatkem vody, avšak pro farinografické i extenzografické stanovení je vždy nutné, aby se vytvořilo těsto maximální konzistence, tzn. aby dosáhlo přibližně 500 FU. V rámci extenzografického stanovení byl pouze analyzován vzorek s přídatkem 5 % SP.

Tabulka 13: Extenzografické ukazatelé pro jednotlivé směsi

Ukazatel	Doba odležení [min]	OPI			SP	T530	Pizza směs
		5 %	10 %	15 %	5 %		
Energie [cm ²]	30	81	56	44	119	82	143
	60	97	55	42	164	82	147
Odpor [BU]	30	728	524	144	289	216	285
	60	960	276	64	196	230	342
Tažnost [mm]	30	85	58	53	196	185	218
	60	80	54	51	188	176	191
Maximum [BU]	30	741	799	680	443	317	489
	60	961	865	691	657	343	597
Poměrové číslo	30	8,6	9	2,7	1,5	1,2	1,3
	60	12	4,6	1,2	2,2	1,3	1,8
Poměrové číslo (max)	30	8,8	13,9	12,9	2,3	1,7	2,2
	60	12	16,1	13,6	3,5	2	3,1

Energie těsta je považována za měřítko pekařské zpracovatelnosti a kvality těsta. Čím menší je energie těsta, tím je těsto méně odolné a méně stabilní při zpracování. Nízkou hodnotu energie mají nejčastěji mouky s tuhým a krátkým lepkem. Naměřená energie u referenčního vzorku měla hodnotu 82 cm². To odpovídá standardu pro české mouky, kde se tento parametr pohybuje okolo 90 cm². Substitucí mouky pomocí OPI nedošlo v čase t=30 od vývinu těsta k zásadním změnám v extenzografických parametrech oproti referenční mouce. Po uplynutí časového intervalu 60 minut od vývinu těsta došlo ke zvýšení energie o 16 cm². Z toho vyplývá, že délka časového intervalu má výsledný vliv na množství energie, při přídatku OPI do 5 %. Energie se zvyšující substitucí mouky OPI vykazovala klesající trend. Těsto, kde byla mouka substituována 15 % OPI je z hlediska energie hodnoceno jako nejméně odolné a stabilní. Energie tohoto těsta byla poloviční oproti referenčnímu vzorku.

Odpor těsta udává sílu lepku, což znamená, že čím vyšší odpor, tím tužší je lepek a vzniklé těsto je pevnější a mechanicky odolnější. Těsto substituované 5 % OPI vykazovalo přibližně 4krát vyšší odpor než referenční vzorek. Stejně tak jako parametr energie, tak i odpor měl klesající trend se zvyšující substitucí OPI. Nejmenší síla lepku byla vyhodnocena u substituce 15 % OPI. Takto připravené těsto bylo tuhé, ale méně mechanicky odolné.

Tažnost těsta udává, jak je dané těsto elastické. U referenčního vzorku byla naměřena tažnost okolo 180 mm měnící se v závislosti na odležení. Optimální tažnost u neupravených

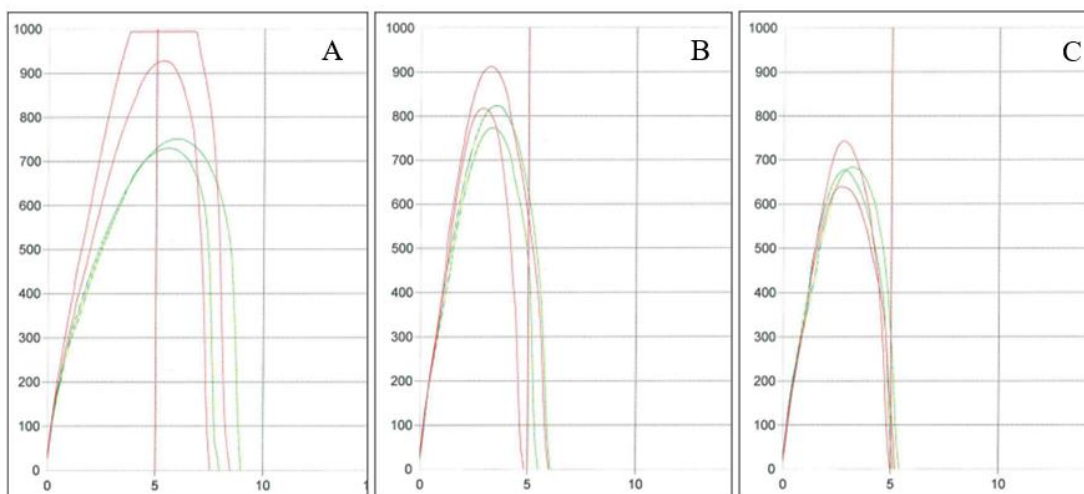
mouk, které se používají pro pekařské účely se pohybuje kolem hodnoty 140–170 mm. Vzorek se substitucí 5 % OPI vykazoval přibližně o polovinu nižší hodnotu tažnosti než referenční vzorek. Vzorky s vyšší substitucí OPI byly charakterizovány jako křehčí a méně elastické.

Z hlediska měření energie, odporu a tažnosti těsta došlo ke zlepšení vlastností těsta u vzorku se substitucí 5 % OPI, kdy energie a odpor byly vyšší oproti referenčnímu vzorku. Z toho lze usoudit, že těsto substituované 5 % OPI vykazuje větší mechanickou odolnost než referenční mouka. Oproti tomu vzorky s vyšší substitucí (10 % a 15 %) vykazovaly zhoršující se mechanickou odolnost. Tento efekt je vyobrazen i na obrázku (Obrázek 24), kdy výsledné křivky mají klesající trend s vyšší substitucí OPI do mouky.

Kromě odporu charakterizuje sílu lepku také **maximum extenzografické křivky**. Podobně jako parametr odpor, tak i parametr maximum je nejvyšší u vzorku s přídavkem 5 % OPI. Významný pokles parametru maximum nastal u vzorku se substitucí 15 % OPI. V porovnání s referenční hodnotou maxima mouky T530 je i tento pokles 2krát vyšší.

Poměrové číslo ukazuje poměr mezi odporem a tažností, na rozdíl od poměrového čísla (max), které ukazuje poměr mezi maximem a tažností. Nejvíce podobné hodnoty poměrového čísla k referenčnímu vzorku byly zjištěny u vzorku se substitucí 15 %. Po 60minutovém odležení měly vzorky klesající trend, až na směs s 5 % OPI. Poměrové číslo (max) bylo nejnižší u vzorku se substitucí 15 % OPI, a proto bylo nejbližší k referenčnímu vzorku. Optimální hodnota poměrového čísla by se měla pohybovat okolo 2–2,5, u speciálních mouk může být poměr vyšší. V České republice se u mouk průměrné jakosti extenzografický poměr pohybuje mírně pod hodnotu 2.

Z celkového posouzení extenzografických parametrů jednotlivých připravených směsí je zřejmé, že vzniklé těsto, jeví se jako nejlepší volba pro další zpracování, je těsto s přídavkem 5 % OPI. Se zvyšující substitucí OPI pak významně klesá extenzografická kvalita. Na obrázku (Obrázek 24) jsou vyobrazeny extenzografické křivky směsí se substitucí 5 %, 10 % a 15 % OPI. Extenzografická křivka je vyjádřena jako závislost extenzografického maxima [BU] na tažnosti vzorku [mm]. Zelená barva udává extenzografické parametry po 30minutovém odležení, červená po 60minutovém odležení.



Obrázek 24: Extenzografická křivka s 5 % OPI (A), s 10 % OPI (B) a s 15 % OPI (C)

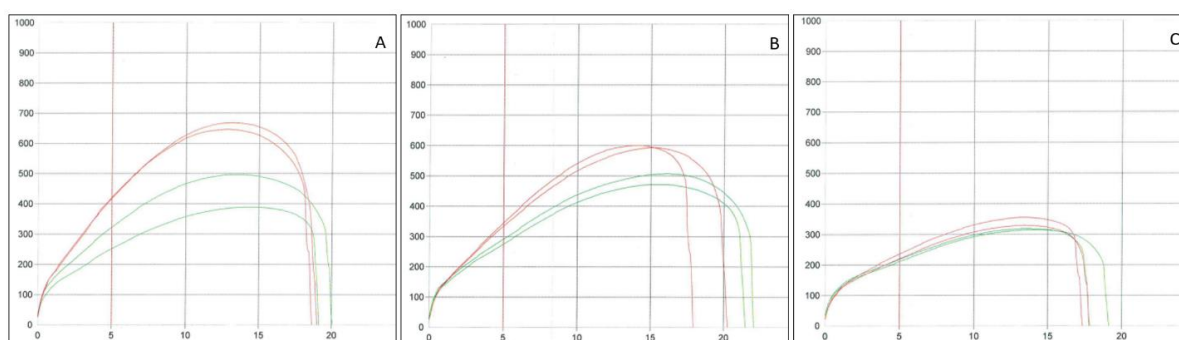
Směsi se syrovátkovým proteinem měly na rozdíl od reference i směsí se substitucí OPI značně odlišné vlastnosti. Při substituci mouky SP došlo k signifikantnímu nárůstu **energie těsta** oproti referenčnímu vzorku, tyto hodnoty byly podobné spíše hodnotám naměřených u pizza mouky, tedy vzorku se zvýšeným obsahem lepku. Tato podobnost je vyobrazena i pomocí extenzografických křivek na obrázku (Obrázek 25). Nárůst energie s rostoucím časovým intervalem od vývinu těsta sílil. Vysoká hodnota energie těsta se substitucí 5 % SP poukazuje na to, že těsto není citlivé k podmínkám zpracování a nebude rychle měknout během zrání a kynutí.

Hodnota odporu těsta směsi s přídavkem 5 % SP už se nejevila tak pozitivní, jako výše uvedená energie. Po 30minutové temperaci jevílo těsto stejný odpor jako pizza mouka, ovšem po uplynutí 60minutovém odležení došlo ke snížení hodnoty odporu. Na rozdíl od toho pizza mouka zvýšila svůj odpor i po 60minutovém odležení. U tažnosti těsta s přídavkem 5 % SP nedošlo k signifikantnímu rozdílu v porovnání s referenčním vzorkem i pizza moukou.

Z hlediska měření energie, odporu a tažnosti těsta došlo ke zlepšení vlastností těsta při přídavku 5 % SP, kdy energie a tažnost byly vyšší oproti referenčnímu vzorku. Hodnota odporu nebyla signifikantně nižší než u reference, a proto lze usoudit, že těsto fortifikované 5 % SP vykazuje podobnou mechanickou odolnost, dokonce i vyšší než referenční vzorek, avšak nižší než pizza mouka.

Hodnota maxima těsta se substitucí 5 % SP vykazovala nejvyšší hodnotu po 60minutovém odležení v porovnání s referenčním a pizza vzorkem. Avšak byla signifikantně nižší, než hodnoty maxima u vzorku s přídavkem 5 % OPI. Poměrové číslo neukázalo významný rozdíl mezi vzorkem s 5 % SP, referenčním a pizza vzorkem.

Na obrázku (Obrázek 25) jsou vyobrazeny extenzografické křivky vzorku se substitucí 5 % SP, pizza moukou a referenčním vzorkem. Extenzografická křivka je vyjádřena jako závislost extenzografického maxima [BU] na tažnosti vzorku [mm]. Zelená barva udává extenzografické parametry po 30minutovém odležení, červená po 60minutovém odležení.



Obrázek 25: Extenzografická křivka s 5 % SP (A), pizza mouky (B) a referenčního vzorku (C)

4.3 Vliv fortifikace těst proteinem na sensorické vlastnosti

Čím dál více spotřebitelů požaduje vysokou kvalitu, čerstvost, nutriční hodnotu a výborné sensorické vlastnosti pekařských výrobků.

Aplikace technik sensorické analýzy je důležitým nástrojem pro pekařský průmysl, protože nabízí výrobek s kvalitou, která je definována a potvrzena ve srozumitelných termínech pro spotřebitele. Vnímání sensorické kvality je komplexní proces související s vnímáním vzhledu, chutě, vůně a texturních vlastností. Sensorická analýza byla provedena u 7 připravených vzorků pšeničných bagetek, které obsahovaly odlišné množství a druh proteinu.

Sensorické analýzy se účastnilo 20 nezávislých hodnotitelů, kteří analyzovali vzorky dle sensorického dotazníku připojeného k DP jako příloha 1. Analýza probíhala ve specializované sensorické laboratoři podle postupu popsáno v kapitole 3.8. Výsledky pekařských experimentů a jejich sensorické analýzy jsou rozděleny do 2 sekcí – texturní vlastnosti a vonné a chuťové vlastnosti. V tabulkách (Tabulka 14) jsou uvedeny hodnoty mediánu pro texturní parametry a parametry vůně a chuti (Tabulka 15).

Tabulka 14: Mediány texturních parametrů a jejich p hodnota

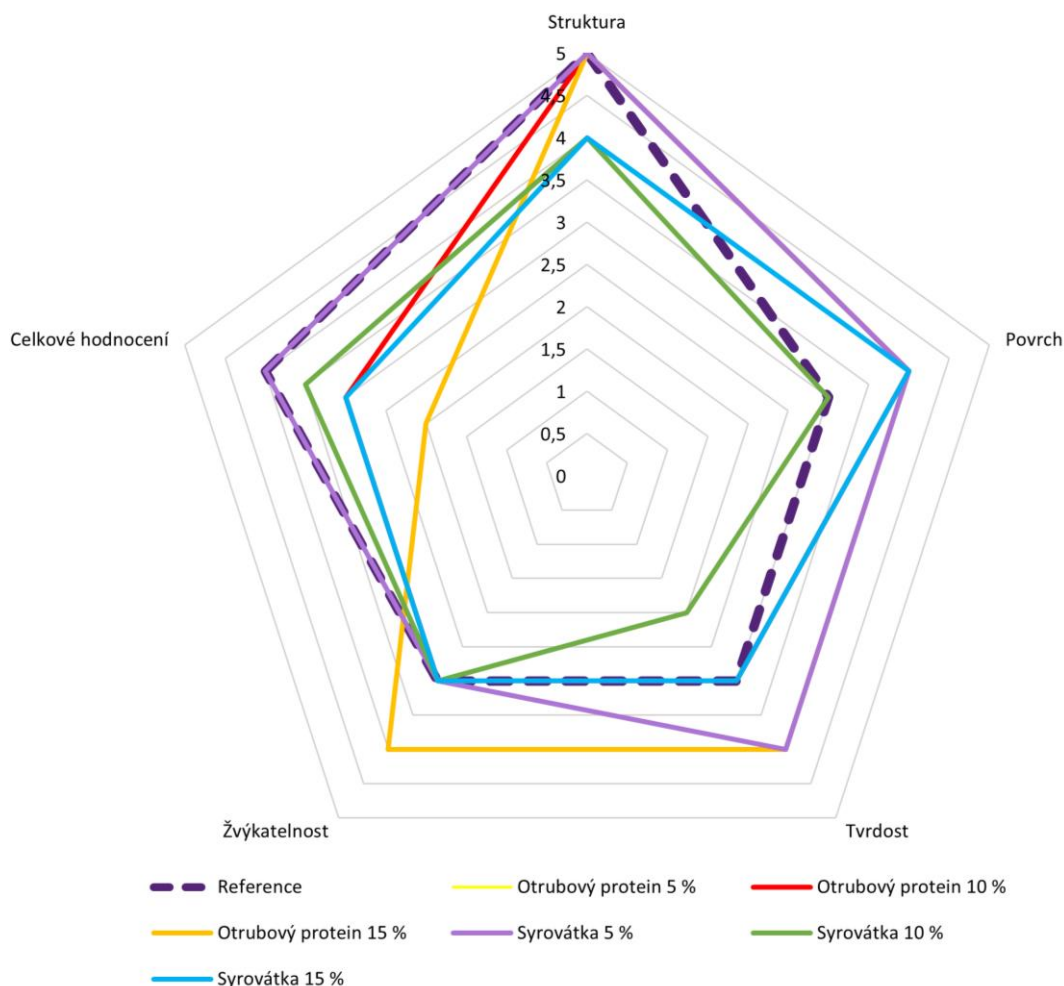
	Struktura	Povrch	Tvrдость	Žvýkatelnost
Reference T530	5	3	3	3
T530 + OPI 5 %	5	4	3	3
T530 + OPI 10 %	5	4	3	3
T530 + OPI 15 %	5	4	4	4
T530 + SP 5 %	5	4	4	3
T530 + SP 10 %	4	3	2	3
T530 + SP 15 %	4	4	3	3
P hodnota	0,0474	0,5985	0,0001	0,0024

Tabulka 15: Mediány chuťových a vonných parametrů a jejich p hodnota

	Vůně	Chuť	Hořkost	Slanost	Celkový dojem
Reference T530	4,5	4	1	3	4
T530 + OPI 5 %	4	4	2,5	3	4
T530 + OPI 10 %	2,5	3	4	2	3
T530 + OPI 15 %	2	2	4,5	2	2
T530 + SP 5 %	5	4	1	2	4
T530 + SP 10 %	4	4	1	2	3,5
T530 + SP 15 %	4	3	1	2	3
P hodnota	0,0003	0,0004	0,00001	0,5763	0,0002

4.3.1 Texturní vlastnosti

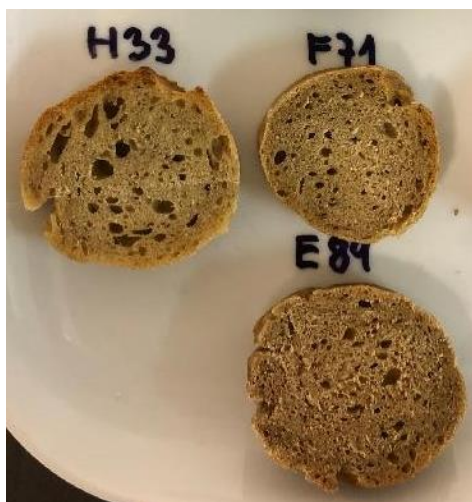
Základním parametrem pekařských výrobků je jejich textura, tj. struktura, povrch, tvrdost a žvýkatelnost. Mezi nejdůležitější texturní vlastnosti bagety se řadí vysoká křupavost a pevnost. Na obrázku (Obrázek 26) je vyobrazen přehled jednotlivých texturních parametrů a vliv přídavku a druhu proteinového izolátu.



Obrázek 26: Přehled hodnocení texturních vlastností baget na základě senzoričké analýzy

Struktura je první parametrem v popisu texturních vlastností. Strukturou bylo myšleno hodnocení pevnosti, sypkosti a soudržnosti fortifikovaného pečiva. Z obrázku (Obrázek 26) je patrné, že substituce proteinového izolátu ovlivnila strukturu výrobku. Substituce mouky SP negativně ovlivnila parametr struktury, kdy hodnotitelé snížili skóre o 1 jednotku oproti referenčnímu vzorku. Snížené skóre bylo nejpravděpodobněji zapříčiněno tím, že syrovátkový protein je silně hydrofobický [2]. Substituce mouky SP inhibuje strukturu lepkové sítě, v důsledku snížené koncentrace lepku a konkurence vázání vody buď lepem, škrobem nebo syrovátkovým proteinem, dochází ke zhoršení soudržnosti výrobku [2]. Tento efekt byl potvrzen i při zpracování těsta. Těsto s vyšším přídavkem syrovátkového proteinu bylo velmi vodnaté a těžce zpracovatelné, což potvrzuje hydrofobický efekt a oslabení lepkové sítě.

Senzorická analýza rozdílů ve struktuře baget obohacených bílkovinou a referenci nepotvrdila. Hlubším vizuálním rozbořením struktury baget na řezu je však patrné, že se zvyšující se koncentrací proteinového izolátu z otrub ve vzorku dochází ke snížení expanze plynových buněk ve fázi pečení (Obrázek 27). Tuto domněnku potvrzuje i studie Alzuwaid, T a kol (2020)[38].



Obrázek 27: Porovnání expanze plynových buněk (H33 – substituce 5 % OPI, F71 – substituce 10 % OPI, E89 – substituce 15 % OPI)

Povrch je druhým parametrem v popisu texturních vlastností. U parametru povrchu nebyl pozorován signifikantní vliv přídavku jak SP, tak OPI na povrch vyrobených baget. Substituce mouky OPI zapříčinila zlepšení hodnocení povrchu o 1 jednotku oproti referenčnímu vzorku. Vyšší skóre pro parametr povrch u baget fortifikovaných OPI je pravděpodobně spojeno s ovlivněním barvy výrobku. Bagety byly lehce zabarveny do hněda. Tato barevná změna mohla v konzumentovi evokovat zdravější verzi celozrnného pečiva, po kterém je každým rokem vyšší poptávka, což dokazuje rostoucí velikost trhu [22].

Tvrdoost je dalším posuzovaný parametr v rámci senzorické analýzy. Z hlediska zhodnocení rozdílů mezi vzorky u parametru tvrdosti byla aplikována Kruskal-WalisoVA ANOVA. Na základě této analýzy bylo zjištěno, že fortifikované bagety se statisticky liší s pravděpodobnostní hodnotou $P = 0,0001$. Vlivem substituce mouky pomocí OPI v nejvyšším přídavku došlo k výraznému zvýšení tvrdosti oproti referenčnímu vzorku. Z obrázku (Obrázek 26) lze usoudit, že s narůstající koncentrací proteinového izolátu z otrub v těstu roste i tvrdost vzorku. Naopak u pečiva se syrovátkovým proteinem nebyla zaznamenána konkrétní úměra mezi množstvím přidaného SP a hodnotou tvrdosti. Kolísání hodnot a nejednoznačný trend u aditivace těsta syrovátkovým proteinem nelze na základě naměřených dat spolehlivě vysvětlit a bylo by třeba dále tento fenomén podrobněji studovat.

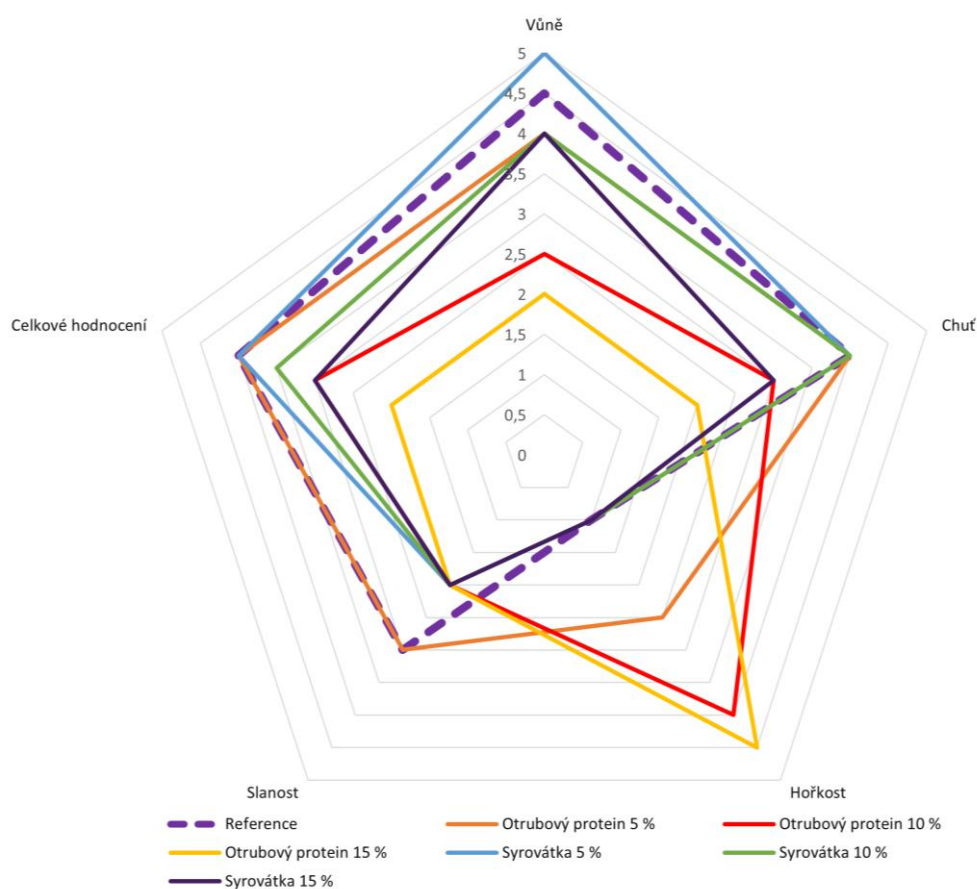
Žvýkatelnost je poslední hodnocenou texturní charakteristikou fortifikovaných baget. Signifikantní rozdíl ve žvýkatelnosti vykazovala fortifikovaná bageta s přídavkem 15 % proteinového izolátu z pšeničných otrub (Obrázek 26). V porovnání s referenční hodnotou došlo ke zvýšení žvýkatelnosti (produkt byl hůře žvýkatelný) a ke zvýšení skóre

o 1 jednotku. Tento výsledek je v rozporu se studií Alzuwaid, T a kol (2020), kde došli k závěru, že substituce mouky 5 % OPI zvýšila žvýkatelnost (produkt byl hůře žvýkatelný) výsledného výrobku. Vliv syrovátkového proteinu na parametr žvýkatelnost nebyl zaznamenán.

Z hlediska texturních vlastností byla nejlépe hodnocena bageta se substitucí mouky 15 % OPI. Naopak nejhůře byla hodnocena bageta se substitucí 5 % syrovátkového proteinu. Referenční vzorek se pohyboval mezi těmito vzorky. Z korelační analýzy bylo zjištěno, že ani jeden texturní parametr nekoreluje s celkovým hodnocením vzorku. Z toho lze usoudit, že texturní vlastnosti nemají signifikantní vliv na celkové hodnocení produktu.

4.3.2 Chuťové a vonné vlastnosti

Senzorická analýza chuti a vůni je nezbytným nástrojem pro posouzení vlastností vzorků pečiva. Parametr chuti se řadí mezi ryze subjektivní hodnocení konkrétního spotřebitele. Tvorba aromaticky a chuťově významných látek je závislá na podmínkách vedení kvasu a také době fermentace. Při delší fermentaci jsou výrobky chuťově bohatší, ale například chléb je obvykle kyselejší [73]. K tvorbě dalších aromaticky významných látek dochází během Maillardovy reakce. Na obrázku (Obrázek 28) je vyobrazen hodnocení parametrů vůně a chuti u vzorků pečiva s různým druhem a množstvím přídatku proteinového izolátu.



Obrázek 28: Přehled hodnocení vonných a chuťových vlastností baget na základě senzoričké analýzy

Hodnocení **vůně** fortifikovaných baget je prvním parametrem. Z hlediska zhodnocení rozdílů mezi vzorky u parametru vůně byla aplikována Kruskal-WalisoVA ANOVA. Na základě této analýzy bylo zjištěno, že fortifikované bagety se statisticky liší na hladině významnosti $P = 0,0003$. Bylo zjištěno, že substituce mouky proteinovým izolátem ovlivňuje výslednou vůni. Nejvyšší pokles skóre měla bageta obohacená o 15 % OPI, kde došlo k poklesu o 2,5 jednotky oproti referenčnímu vzorku. Z obrázku (Obrázek 28) lze usoudit, že příjemnost vůně klesala s rostoucím přídatkem OPI, kde zesiluje vůně obilí, která je méně příjemná pro hodnotitelé. Naopak při přídatku 5 % syrovátkového proteinu došlo ke zlepšení vůně o 1 jednotku oproti referenčnímu vzorku. S vyšším přídatkem SP došlo ke snížení hodnoty mediánu na 4, což je o půl jednotky nižší než referenční vzorek a nejedná se o tak výrazný pokles. Ve vzorku s přídatkem 5 % syrovátkového proteinu hodnotitelé nejčastěji uváděli vůni jako máselnou či oříškovou, která pro hodnotitelé byla příjemná.

Dalším hodnoceným parametrem byla chuť výrobku. Z obrázku (Obrázek 28) je zřejmé, že nezávislí hodnotitelé zaznamenaly signifikantní rozdíly u obohacených pšeničných baget. Obecně lze říct, že chuťová přijatelnost klesala s vyšším přídatkem proteinu. Otrubový proteinový izolát negativně ovlivnil výslednou chuť, kdy u vzorku s přídatkem 15 % OPI došlo k poklesu o 2 jednotky oproti referenčnímu vzorku. Ve vzorku s přídatkem 15 % OPI hodnotitelé cítili výraznou obilnou chuť. Stejně tak jako OPI, tak i syrovátkový protein negativně ovlivnil parametr chuti. Z hlediska parametru chuti byla nejhůře hodnocena bageta s přídatkem 15 % SP, kde byla nejčastěji identifikována chuť máselná, která je méně typická pro pekařské výrobky.

Hořkost je dalším posuzovaným parametrem v rámci senzoričké analýzy. Z hlediska rozdílů mezi vzorky u parametru hořkosti byl identifikován statisticky významný rozdíl ($P = 0,00001$). Z obrázku (Obrázek 28) je patné, že k ovlivnění parametru hořkosti došlo pouze při přídatku OPI. V případě výrobku s přídatkem 15 % došlo ke zvýšení hořkosti o 2 jednotky při porovnání s referenčním vzorkem pečiva. Míra hořkosti rostla přímo úměrně se zvýšením přídatku proteinu. Vznik nežádoucí hořké až kyselé příchutě fortifikovaného pečiva lze přisoudit několika pravděpodobným příčinám. Pšeničné otruby jsou bohaté na kyselinu ferulovou a třísloviny. Tyto látky mohou způsobovat výslednou nahořklou chuť výrobku. V praxi se tato nahořklá chuť v potravinářských výrobcích maskuje přídatkem sladidla (medu) nebo soli. Vyšší hořkost může být také zapříčiněna zastoupením AMK. Některé AMK mohou ve vyšších koncentracích způsobovat nahořklou chuť, tj. tryptofan, threonin, valin, fenylalanin, methionin, lysin, histidin, cystein a arginin. Zvýšení atributu hořkosti při přídatku pšeničných otrub potvrzuje i studie Heiniö, R a kol (2003), kdy přídatek otrubových vrstev do chleba zvýšil hořkost konečného výrobku [74][75] [76].

Na základě korelační analýzy bylo zjištěno, že parametr hořkost negativně koreluje s parametrem celkového hodnocení (korelace $-0,488$). Na základě korelačních koeficientů lze usuzovat, že čím nižší hořkost fortifikovaného pečiva, tím lepší bylo celkové hodnocení pečiva.

Slanost je dalším parametrem v rámci sensorické analýzy. U parametru slanosti nebyl pozorován signifikantní vliv přídatku jak SP, tak OPI na slanost vyrobených baget. Nejvyšší slanost vykazovala referenční bageta spolu s bagetou s přídatkem 5 % proteinového izolátu z pšeničných otrub. Parametr slanosti fortifikovaného pečiva slabě pozitivně koreloval s celkovým dojmem pečiva (korelace = 0,178).

Celkové hodnocení bylo posledním parametrem sensorické analýzy vzorků pečiva. Bylo zjištěno, že fortifikované bagety se na základě celkového hodnocení statisticky významně liší ($P = 0,002$). Jako nejvíce spotřebitelsky přijatelná byla hodnocena referenční bageta. Mezi vzorky obohacenými proteinovými izoláty byla nejlépe hodnocena se stejným skóre bageta s přídatkem 5 % proteinového izolátu z pšeničných otrub a bageta s přídatkem 5 % syrovátkového proteinu. Obecně lze konstatovat, že celkový dojem klesal s vyšším přídatkem izolátů. Na celkové hodnocení měl nejvýznamnější vliv parametr hořkosti. Je evidentní, že se zvyšující hořkostí vzorku signifikantně klesala celková přijatelnost výrobku. Vzorek vyrobený z těsta, kde bylo nahrazeno 15 % mouky izolátem z pšeničných otrub již vykazoval téměř nepřijatelné hodnocení.

5 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce je vyhodnotit vliv přídatku otrubového proteinového izolátu na chemické, texturní a senzorické vlastnosti základních pekařských výrobků (pšeničných baget). Z hlediska nutričního složení došlo k výraznému obohacení bílkovinné složky v pekařských směsích. Vlivem přidání proteinových izolátů také docházelo ke změně aminokyselinového profilu v pekařských směsích. Dále byly vzorky podrobeny fyzikálně-chemickým analýzám, tj. stanovení obsahu vody, mokrého lepku a bobtnavosti

Z výsledků farinografického měření vyplývá, že při substituci mouky OPI docházelo ke zvyšování vaznosti mouky. Vaznost směsi (mouka substituovaná 5 % OPI) se zvýšila o 0,6 % oproti referenčnímu vzorku. Dále také došlo ke zvýšení stupně změknutí (12 min). Ostatní farinografické parametry měly zhoršující se tendenci. Naopak u substituce mouky SP došlo ke zvýšení doby vývinu těsta, stability těsta a farinografického čísla kvality. Vlivem rapidního zvýšení byla směs substituovaná syrovátkovým proteinem porovnávána s pizza směsí, která vykazovala podobné vlastnosti. Směs se substitucí SP měla vyšší hodnotu doby vývinu, stupně změknutí (12 min) a farinografického čísla kvality oproti pizza mouce.

Extenzografické měření ukázalo, že energie těsta se substitucí OPI vykazovala podobné vlastnosti jako mouka T530. Z hlediska měření energie, odporu a tažnosti těsta došlo ke zlepšení vlastností při substituci mouky 5 % OPI, kdy energie a odpor těsta dosahovaly vyšší hodnoty. Z toho lze usoudit, že těsto substituované 5 % OPI vykazuje vyšší mechanickou odolnost než referenční vzorek. Ovšem s rostoucí substitucí mouky OPI docházelo k postupnému snižování extenzografických parametrů a dále již nedocházelo ke zlepšení mechanických vlastností těsta. Vzorek se substitucí mouky 5 % SP vykazoval velmi podobné vlastnosti jako pizza mouka a o něco lepší mechanické vlastnosti než referenční vzorek.

Substituce mouky proteinovým izolátem z pšeničných otrub a syrovátkovým proteinem se z nutričního hlediska jeví jako vhodný nástroj pro eliminaci proteinové deficiencie ve stravě. Bohatý aminokyselinový profil OPI a SP obohatí výrobek o řadu nutričně významných látek. Reologické vlastnosti vzorku se substitucí mouky 5 % OPI byly srovnatelné s referenční moukou, avšak u vzorků s vyšším stupněm substituce bylo pozorováno zhoršení těchto vlastností. Ačkoliv substituce mouky 5 % OPI nevykazovala rapidní zhoršení texturních vlastností, vykazovala poměrně výrazné zhoršení chuti výrobku, která s vyšší substitucí rapidně rostla. Vzhledem k tomu, že substituce mouky otrubovým proteinovým izolátem ovlivňuje především jejich chuťové vlastnosti výrobku, nelze je v tomto stavu považovat za optimální pro fortifikaci. Aby bylo možné tento izolát považovat za vhodný bílkovinný fortifikant potravin, je nutné se zaměřit zejména na maskování nebo eliminaci látek způsobující hořkou chuť.

6 ZDROJE

- [1] Co jsou bílkoviny? »INKOSPOR.cz blog. INKOSPOR | VÝŽIVA NĚMECKÉ FARMACEUTICKÉ KVALITY [online]. Pobo Page Builder [cit. 02.05.2022]. Dostupné z: <https://www.inkospor.cz/blog/co-jsou-bilkoviny/>
- [2] ZHOU, Jianmin, Junfei LIU, Xiaozhi TANG, Montserrat PUJOLA a Franscesc SEPULCRE, 2018. Effects of whey and soy protein addition on bread rheological property of wheat flour. *Journal of Texture Studies*. **49**(1), 38-46. ISSN 00224901. Dostupné z: doi:10.1111/jtxs.12275
- [3] ISMAIL, B Pam, Lasika SENARATNE-LENAGALA, Alicia STUBE, Ann BRACKENRIDGE a Franscesc SEPULCRE, 2020. Protein demand: review of plant and animal proteins used in alternative protein product development and production. *Animal Frontiers*. **10**(4), 53-63. ISSN 2160-6056. Dostupné z: doi:10.1093/af/vfaa040
- [4] APPRICH, Silvia, Özge TIRPANALAN, Johannes HELL, Michael REISINGER, Stefan BÖHMDORFER, Susanne SIEBENHANDL-EHN, Senad NOVALIN a Wolfgang KNEIFEL, 2014. Wheat bran-based biorefinery 2: Valorization of products. *LWT - Food Science and Technology*. **56**(2), 222-231. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/j.lwt.2013.12.003
- [5] Hoffman, J. R., & Falvo, M. J. (2004). Protein - Which is Best?. *Journal of sports science & medicine*, 3(3), 118–130.
- [6] QIN, Pingxu, Taoran WANG a Yangchao LUO, 2022. A review on plant-based proteins from soybean: Health benefits and soy product development. *Journal of Agriculture and Food Research*. 7. ISSN 26661543. Dostupné z: doi:10.1016/j.jafr.2021.100265
- [7] Bílkoviny - Česká veganská společnost. Česká veganská společnost - Budoucnost pro všechny [online]. Dostupné z: <https://veganskaspolecnost.cz/vyziva/bilkoviny/>
- [8] JOYE, Iris, 2019. Protein Digestibility of Cereal Products. *Foods*. **8**(6). ISSN 2304-8158. Dostupné z: doi:10.3390/foods8060199
- [9] ROMINA ALINA, Vlaic, Mureşan CRINA CARMEN, Muste SEVASTITA, Mureşan ANDRUŢA, Muresan VLAD, Suharoschi RAMONA, Petruţ GEORGIANA a Mihai MIHAELA, 2019. Food Fortification through Innovative Technologies. *Food Engineering*. IntechOpen, 2019-9-11. ISBN 978-1-83881-975-0. Dostupné z: doi:10.5772/intechopen.82249
- [10] ALLEN, L., B. DE BENOIST, O. DARY a R. HURRELL. Guidelines on food fortification with micronutrients. Geneva: World Health Organization, 2006. ISBN 92 4 159401 2

- [11] WAKEEL, Abdul, Muhammad FAROOQ, Khurram BASHIR, Levent OZTURK, Muresan VLAD, Suharoschi RAMONA, Petruț GEORGIANA a Mihai MIHAELA, 2018. Micronutrient Malnutrition and Biofortification: Recent Advances and Future Perspectives. *Plant Micronutrient Use Efficiency*. Elsevier, 2018, 225-243. ISBN 9780128121047. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-812104-7.00017-4
- [12] CARDOSO, Rossana V.C., Ângela FERNANDES, Ana M. GONZALÉZ-PARAMÁS, Lillian BARROS a Isabel C.F.R. FERREIRA, 2019. Flour fortification for nutritional and health improvement: A review. *Food Research International*. **125**. ISSN 09639969. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodres.2019.108576
- [13] ZAHEDIRAD, Malihe, Sepideh ASADZADEH, Bahareh NIKOOYEH, Tirang R. NEYESTANI, Nasim KHORSHIDIAN, Mojtaba YOUSEFI a Amir Mohammad MORTAZAVIAN, 2019. Fortification aspects of vitamin D in dairy products: A review study. *International Dairy Journal*. **94**, 53-64. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2019.01.013
- [14] RUPRICH, Jiří a Svatana BISCHOFOVÁ, 2017. Víte, že i mléko a mléčné výrobky jsou zdrojem vitamínu D?. *Státní zdravotní ústav* [online]. Praha: Centrum zdraví [cit. 2022-02-17]. Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/CZVP/5_Vitamin_D_Mleko.pdf
- [15] Portál eAGRI - resortní portál Ministerstva zemědělství. [online]. 2009 [cit. 17.02.2022]. Dostupné z: <https://eagri.cz/public/web/mze/>
- [16] Máte dostatek vitamínu D? - Lékárna.cz. Lékárna.cz první online lékárna [online]. [cit. 12.04.2022]. Dostupné z: <https://www.lekarna.cz/clanek/vitamin-d/>
- [17] KOLANOWSKI, Wojciech, Jenny WEISSBRODT, Myriam OJEDA-ARREDONDO, Lilia Yadira CORTÉS, Elizabeth GIL ARCHILA, Andrés GIRALDO a Alexandra-Idalia MONDRAGÓN, 2007. Sensory quality of dairy products fortified with fish oil: A review of recent (2010-2020) evidence. *International Dairy Journal*. **17**(10), 1248-1253. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2007.04.005
- [18] KAMALI ROUSTA, Leila, Samad BODBODAK, Mohammad NEJATIAN, Amir Pouya GHANDEHARI YAZDI, Zahra RAFIEE, Jianbo XIAO a Seid Mahdí JAFARI, 2021. Use of encapsulation technology to enrich and fortify bakery, pasta, and cereal-based products: A review. *Food Research International*. **118**, 688-710. ISSN 09242244. Dostupné z: doi:10.1016/j.tifs.2021.10.029
- [19] *Globální pokrok* [online], 2002. Emory University: Rollins School of Public Health [cit. 2022-02-22]. Dostupné z: <https://www.ffinetwork.org/globalprogress>
- [20] Obohacování mouky – Společnost pro výživu. Společnost pro výživu [online]. 2022 Společnost pro výživu, z.s. [cit. 27.02.2022]. Dostupné z: <https://www.vyzivapol.cz/obohacovani-mouky/>

- [21] ZHOU, Jianmin, Junfei LIU a Xiaozhi TANG, 2018. Effects of whey and soy protein addition on bread rheological property of wheat flour. *Journal of Texture Studies*. **49**(1), 38-46. ISSN 00224901. Dostupné z: doi:10.1111/jtxs.12275
- [22] CAPPELLI, Alessio, Noemi OLIVA, Guglielmo BONACCORSI, Chiara LORINI a Enrico CINI, 2020. Assessment of the rheological properties and bread characteristics obtained by innovative protein sources (*Cicer arietinum*, *Acheta domestica*, *Tenebrio molitor*): Novel food or potential improvers for wheat flour?. *LWT*. **118**. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/j.lwt.2019.108867
- [23] Bad Request. Ameri Research Inc. | Global Market Research Reports | Industry Analysis [online]. Dostupné z: <https://www.ameriresearch.com/plant-based-protein-supplements-market/>
- [24] Functional Protein Market Size, Share | Industry Analysis Report, 2025. Market Research Reports & Consulting | Grand View Research, Inc. [online]. Copyright © 2022 Grand View Research, Inc. All rights reserved. [cit. 16.02.2022]. Dostupné z: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/functional-protein-market?utm_source=pressrelease&utm_medium=referral&utm_campaign=sites_supriya_jan&utm_c
- [25] *Obiloviny v lidské výživě*, 2015-. Praha: Potravinářská komora České republiky, Česká technologická platforma pro potraviny. Publikace České technologické platformy pro potraviny. ISBN 978-80-88019-16-9.
- [26] Český statistický úřad | ČSÚ. Český statistický úřad | ČSÚ [online]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/domov>
- [27] PŘÍHODA, Josef, Marie HRUŠKOVÁ a Pavel SKŘIVAN, 2003. *Cereální chemie a technologie*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN 80-708-0530-7.
- [28] SLUKOVÁ, Marcela, Pavel SKŘIVAN a Marie HRUŠKOVÁ, 2017. *Cereální chemie a technologie: zpracování obilovin - mlýnská a těstářská výroba*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN 978-80-7592-000-3.
- [29] Wheat Bran Market | 2022 - 27 | Industry Share, Size, Growth - Mordor Intelligence. Home | Mordor Intelligence [online]. Copyright © 2022. All Rights Reserved to Mordor Intelligence. [cit. 09.03.2022]. Dostupné z: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/wheat-bran-market#>
- [30] BALANDRÁN-QUINTANA, René Renato, Jorge Nemesio MERCADO-RUIZ a Ana María MENDOZA-WILSON, 2015. Wheat Bran Proteins: A Review of Their Uses and Potential. *Food Reviews International*. **31**(3), 279-293. ISSN 8755-9129. Dostupné z: doi:10.1080/87559129.2015.1015137
- [31] Bran Fact and Types. Food as medicine | Health Benefits Times [online]. 2021 Healthbenefitstimes. All rights reserved. [cit. 09.03.2022]. Dostupné z: <https://www.healthbenefitstimes.com/bran/>

- [32] FOONG, Shin Ying, Rock Keey LIEW, Yafeng YANG, et al., 2020. Valorization of biomass waste to engineered activated biochar by microwave pyrolysis: Progress, challenges, and future directions. *Chemical Engineering Journal*. **389**. ISSN 13858947. Dostupné z: doi:10.1016/j.cej.2020.124401
- [33] LI, Changzhi, Xiaochen ZHAO, Aiqin WANG, et al., 2015. Catalytic Transformation of Lignin for the Production of Chemicals and Fuels: Progress, challenges, and future directions. *Chemical Reviews*. **115**(21), 11559-11624. ISSN 0009-2665. Dostupné z: doi:10.1021/acs.chemrev.5b00155
- [34] HEMDANE, Sami, Pieter J. JACOBS, Emmie DORNEZ, Joran VERSPREET, Jan A. DELCOUR, Christophe M. COURTIN, Senad NOVALIN a Wolfgang KNEIFEL, 2016. Wheat (*Triticum aestivum* L .) Bran in Bread Making: A Critical
- [35] JODAYREE, Sara, Jeffrey C. SMITH a Apollinaire TSOPMO, 2012. Use of carbohydrase to enhance protein extraction efficiency and antioxidative properties of oat bran protein hydrolysates. *Food Research International*. 46(1), 69-75. ISSN 09639969. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodres.2011.12.004
- [36] FABIAN, Cynthia, Yi-Hsu JU a Apollinaire TSOPMO, 2011. A Review on Rice Bran Protein: Its Properties and Extraction Methods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. **51**(9), 816-827. ISSN 1040-8398. Dostupné z: doi:10.1080/10408398.2010.482678
- [37] YILMAZ-TURAN, Secil, Amparo JIMÉNEZ-QUERO, Rosana MORIANA, Elisa ARTE, Kati KATINA a Francisco VILAPLANA, 2020. Cascade extraction of proteins and feruloylated arabinoxylans from wheat bran: Its Properties and Extraction Methods. *Food Chemistry*. **333**(9), 816-827. ISSN 03088146. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2020.127491
- [38] ALZUWAID, Nabeel T., Mike SISSONS, Barbara LADDOMADA a Christopher M. FELLOWS, 2020. Nutritional and functional properties of durum wheat bran protein concentrate. *Cereal Chemistry*. **97**(2), 304-315. ISSN 0009-0352. Dostupné z: doi:10.1002/cche.10246
- [39] ALZUWAID, Nabeel T., Denise PLEMING, Christopher M. FELLOWS a Mike SISSONS, 2021. Fortification of durum wheat spaghetti and common wheat bread with wheat bran protein concentrate-impacts on nutrition and technological properties. *Food Chemistry*. **334**. ISSN
- [40] KOTSIANIS, I.S, V GIANNOU a C TZIA, 2002. *Production and packaging of bakery products using MAP technology*. **13**(9-10), 319-324. ISSN 09242244. Dostupné z: doi:10.1016/S0924-2244(02)00162-0
- [41] BÍLKOVÁ, Mária. *Základní pekařské suroviny* [online]. In: . 2016, s. 24 [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/4691116-Zakladni-pekarske-suroviny.html>KUČEROVÁ, J., *Technologie cereálií*. Brno: Ediční středisko MZLU., 1. vyd., 2004, 141 s. ISBN 978-80-7157-811-6.

- [42] Bad Request. 400 Bad Request [online]. Dostupné z: <http://www.madehow.com/Volume-3/Flour.html>
- [43] KUČEROVÁ, J., Technologie cereálií. Brno: Ediční středisko MZLU., 1. vyd., 2004, 141 s. ISBN 978-80-7157-811-6.
- [44] Mohu použít odstředěné mléko namísto prášku v pekárny_pečení Základy. Food & Drink [online]. Jídlo a pití [cit. 12.04.2022]. Dostupné z: <http://www.drinkfood.biz/cs/cooking-baking/baking-basics/1010004586.html>
- [45] DECAUX, C., DECAUX, G., 2009: Domácí chléb a jiné pečivo, Computer Press, s. 128 ISBN 978-80-251-2498-7
- [46] HRABĚ, J., ROP, O., HOZA, I., Technologie výroby potravin rostlinného původu bakalářský stupeň. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně., 1. vyd., 2008, 179 s. ISBN 978-80-7318-372-1.
- [47] KOVAŘÍKOVÁ, Dana a Věra NETOLICKÁ, 2011. Vzdělávací materiál pro předmět Technologická příprava: Modernizace výuky na Střední průmyslové škole potravinářské Pardubice. Pardubice. Projekt. Střední průmyslová škola potravinářská Pardubice.
- [48] WHEAT and FLOUR TESTING METHODS: A Guide to Understanding Wheat and Flour Quality [online]. Portland, Oregon USA: WHEAT MARKETING CENTER, 73 s. [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: <https://nebraskawheat.com/wp-content/uploads/2014/01/WheatFlourTestingMethods.pdf>
- [49] Zemědělské stavby - projektování, stavba a servis - Pawlica. Zemědělské stavby - projektování, stavba a servis - Pawlica [online]. 2020 PAWLICA All rights reserved [cit. 15.04.2022]. Dostupné z: <https://www.pawlica.cz/>
- [50] Hektolitrová váha WILE 241. [online]. [cit. 15.04.2022]. Dostupné z: <https://agromanualshop.cz/hektolitrova-vaha-wile-241/>
- [51] Falling number - Domagroup . [online]. Dostupné z: <https://www.domagroup.eu/en/d/food-and-beverages-quality-control/bakery-products-quality-control/falling-number>
- [52] PŘÍHODA J., HRUŠKOVÁ M., 2007: Hodnocení kvality: aplikace doporučených přístrojů, metod a interpretace výsledků pro praxi. Praha: Svaz průmyslových mlýnů České republiky, 187 s. ISBN 978-80-239-9475-9.
- [53] BUREŠOVÁ, Iva a Eva LORENCOVÁ. Výroba potravin rostlinného původu: zpracování obilovin. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, 2013, 302 s. ISBN 978-80-7454-278-7.
- [54] MICHAŁOWSKI, Tadeusz, Agustin G. ASUERO a Sławomir WYBRANIEC, 2013. The Titration in the Kjeldahl Method of Nitrogen Determination: Base or Acid as Titrant?. *Journal of Chemical Education*. **90**(2), 191-197. ISSN 0021-9584. Dostupné z: doi:10.1021/ed200863p

- [55] Elemental Analysis and the Dumas Method, 2022. *VELP Scientifica* [online]. Italy: VELP Scientifica Srl [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://www.velp.com/en-ww/dumas-method-1.aspx>
- [56] Rheology | Baking Processes | BAKERpedia. Shared knowledge. Freely available. Always. BAKERpedia [online]. 2022 BAKERpedia. All rights reserved. [cit. 17.03.2022]. Dostupné z: <https://bakerpedia.com/processes/rheology/>
- [57] LAZO-VÉLEZ, Marco A., Cristina CHUCK-HERNANDEZ a Sergio O. SERNASALDÍVAR, 2015. Evaluation of the functionality of five different soybean proteins in yeast-leavened pan breads. *Journal of Cereal Science*. **64**, 63-69. ISSN 07335210. Dostupné z: doi:10.1016/j.jcs.2015.04.007
- [58] HUBAČOVÁ, Klára. Výroba a charakterizace proteinových koncentrátů z pšeničných otrub [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zavprace/detail/123863>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie potravin a biotechnologií. Vedoucí práce Jaromír Pořízka.
- [59] Branch Chain Amino Acids and the Athlete « The OBrien Clinic « Lehigh Valley Chiropractic Care. The OBrien Clinic « Lehigh Valley Chiropractic Care [online]. 2022 [cit. 11.05.2022]. Dostupné z: <https://www.obrienclinic.com/general/branch-chain-amino-acids-and-the-athlete/>
- [60] VICKERY, Hubert. The History of the Discovery of the Amino Acids. *Chemical reviews*. 1931, roč. 9, čís. 2, s. 169–318.
- [61] 20 Amino Acids that Make Up Proteins | Amino Acids | About the Ajinomoto Group | Ajinomoto Group Global Website - Eat Well, Live Well.. Ajinomoto Group Global Website - Eat Well, Live Well. [online]. Copyright © 2019 [cit. 11.05.2022]. Dostupné z: <https://www.ajinomoto.com/aboutus/amino-acids/20-amino-acids>
- [62] MARIOTTI, François, Daniel TOMÉ a Philippe Patureau MIRAND, 2008. Converting Nitrogen into Protein—Beyond 6.25 and Jones' Factors. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. **48**(2), 177-184. ISSN 1040-8398. Dostupné z: doi:10.1080/10408390701279749
- [63] Zdravá výživa a superpotravy z přírody | Topnatur.cz. Redirecting to /cs/ [online]. 2022 TopNatur.cz [cit. 11.05.2022]. Dostupné z: <https://www.topnatur.cz/cs/>
- [64] INSULEAN PROTEINOVÝ VEČERNÍ CHLÉB | Multipower - špičková německá sportovní výživa [cit. 11.05.2022]. Dostupné z: <https://www.multipower.cz/eshop-insulean-proteinovy-vecerni-chleb>
- [65] Adding protein to baked goods | Bakingbusiness.com | October 14, 2016 20:20 | Baking Business. Bakingbusiness.com | Baking industry news and insights | Baking Business [online]. 2022 SOSLAND PUBLISHING COMPANY [cit. 11.05.2022]. Dostupné z: <https://www.bakingbusiness.com/articles/31059-adding-protein-to-baked-goods>

- [66] SKOUPIL, J., MÜLLEROVÁ, M., ŠTROBACH, J. Zpracování mouky, Praha: NTL, 198
- [67] EN TAY, Rita Ru, Talia AGATHA, Gweon SOMANG, Oni YULIARTI a Eunice Li LIN TAN, 2022. Structuring wheat flour-based crackers using whey protein isolate. *International Dairy Journal*. 128. ISSN 09586946. Dostupné z: doi:10.1016/j.idairyj.2021.105314
- [68] Státní zemědělská a potravinářská inspekce | Označování potravin z hlediska obsahu lepku. Státní zemědělská a potravinářská inspekce | Hlavní stránka [online]. Státní zemědělská a potravinářská inspekce 2022. [cit. 11.05.2022]. Dostupné z: <https://www.szpi.gov.cz/clanek/oznacovani-potravin-z-hlediska-obsahu-lepku.aspx>
- [69] BLÁHA, Ludvík. – KADLEC, František. – PLHOŇ, Zdeněk. Cukrářská výroba pro 3. ročník, učebního oboru cukrář, cukrářka. Praha 1995. ISBN 80-85427-65-6
- [70] GÓMEZ, Manuel, Sara JIMÉNEZ, Elena RUIZ a Bonastre OLIVETE, 2011. Effect of extruded wheat bran on dough rheology and bread quality. *LWT - Food Science and Technology*. 44(10), 2231-2237. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/j.lwt.2011.06.006
- [71] INDRANI, D., P. PRABHASANKAR, Jyotsna RAJIV a G. Venkateswara RAO, 2007. Influence of whey protein concentrate on the rheological characteristics of dough, microstructure and quality of unleavened flat bread (parotta). *Food Research International*. 40(10), 1254-1260. ISSN 09639969. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodres.2007.08.005
- [72] TANG, Xiaozhi, Junfei LIU, Jyotsna RAJIV a G. Venkateswara RAO, 2017. A Comparative Study of Partial Replacement of Wheat Flour with Whey and Soy Protein on Rheological Properties of Dough and Cookie Quality. *Journal of Food Quality*. 2017(10), 1-10. ISSN 0146-9428. Dostupné z: doi:10.1155/2017/2618020
- [73] PŘÍHODA, Josef, Marcela SLUKOVÁ a Jaromír DŘÍZAL, 2013. *Chléb a pečivo*. Praha: Sdružení českých spotřebitelů pro Českou technologickou platformu pro potraviny. Jak poznáme kvalitu?. ISBN 978-80-905096-7-2.
- [74] SCHIFFMAN, SUSAN S a CHARLES DACKLS, 1975. *Taste of nutrients: Amino acids, vitamins, and fatty acids*. Department of Psychiatry, Duke University, Durham, North Carolina 27706, 140-146.
- [75] HEINIÖ, Raija-Liisa, M.W.J NOORT, K KATINA, S.A ALAM a N SOZER. Sensory characteristics of wholegrain and bran-rich cereal foods – a review. 41.

- [76] HEINIÖ, Raija-Liisa, Kirsi-Helena LIUKKONEN, Kati KATINA, Olavi MYLLYMÄKI a Kaisa POUTANEN, 2003. Milling fractionation of rye produces different sensory profiles of both flour and bread. *LWT - Food Science and Technology*. Department of Psychiatry, Duke University, Durham, North Carolina 27706, **36**(6), 577-583. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/S0023-6438(03)00063-X

7 SEZNAM ZKRATEK

BU – Brabenderovy jednotky

EAA – esenciální aminokyseliny

EU – extenzografické jednotky

FAO – Organizace pro výživu a zemědělství

FN – pádové číslo

FQN – farinografické číslo kvality

FU – farinografické jednotky

LC PUFA – polynenasycené mastné kyseliny s dlouhým řetězcem

MAP – modifikovaná atmosféra

NEAA – neesenciální aminokyseliny

NIR – blízká infračervená spektroskopie

OPI – otrubový proteinový izolát

PDI – disperzibilita proteinů

SB – sójové boby

SP – syrovátkový protein

T530 – pšeničná hladká mouka

WAI – absorpce vody

WHO – Světová zdravotnická organizace

8 PŘÍLOHY

Příloha 1: Dotazník pro senzorické hodnocení

Senzorická analýza pečiva se zvýšeným obsahem proteinů

Proteiny jsou důležitou výživovou složkou lidského těla. Přispívají k růstu, udržení normálního stavu kostí a udržení svalové hmoty. Nedostatečný příjem proteinů ze stravy způsobuje slábnutí svalů, kostí a nehtů, vypadávání a řídnutí vlasů.

Proteinová fortifikace mléčnými proteiny nebo luštěninovými proteiny v běžném pečení nebo extrudovaných výrobcích je běžně používaná metoda k minimalizaci proteinové kalorické podvýživy.

Pohlaví: muž/žena

Věk.....

Kuřák/nekuřák

Pečivo konzumují:

- Každý den
- Více než 3x týdně
- Méně než 3x týdně

Senzorický profil:

- **Struktura:**

1	2	3	4	5
Velmi drolivá, písčitá		Mírně drolivá		Soudržná

Vzorek							
Hodnocení							

• **Vlastnosti povrchu**

	1	2	3	4	5
	Drsný		Polohladký		Hladký
Vzorek					
Hodnocení					

• **Tvrдост**

	1	2	3	4	5
	Obtížně stlačitelný		Středně tvrdý		Měkký
Vzorek					
Hodnocení					

• **Žvýkatelnost**

	1	2	3	4	5
	Tvrdý, obtížně žvýkatelný		Středně žvýkatelný		Snadno žvýkatelný, v ústech se rozpadá
Vzorek					
Hodnocení					

• **Vůně**

	1	2	3	4	5
	Nepříjemná		Neznatelná		Příjemná
Vzorek					
Hodnocení					

• **Chuť – slanost**

1	2	3	4	5
Nevýrazný		Středně výrazný	Výrazný	

Vzorek							
Hodnocení							

• **Celkové hodnocení**

1	2	3	4	5
Výrobek mi vůbec nechutnal		Výrobek mi chutnal, ale nekoupil bych si ho	Výrobek mi chutnal	

Vzorek							
Hodnocení							